

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

Leonardo Teixeira Rocha

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE USO DE PRECIPITAÇÕES
OBTIDAS POR SENSORIAMENTO REMOTO EM SIMULAÇÕES
HIDROLÓGICAS NA BACIA DO RIO JAPARATUBA/SE

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2015

LEONARDO TEIXEIRA ROCHA

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE USO DE
PRECIPITAÇÕES OBTIDAS POR SENSORIAMENTO
REMOTO EM SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS NA
BACIA DO RIO JAPARATUBA/SE

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos como um
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Aurélio Soares Cruz

SÃO CRISTÓVÃO – SE
2015

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

R672a Rocha, Leonardo Teixeira
Avaliação da viabilidade de uso de precipitações obtidas por sensoriamento remoto em simulações hidrológicas na bacia do rio Japaratuba/SE / Leonardo Teixeira Rocha ; orientador Marcus Aurélio Soares Cruz. – São Cristóvão, 2015.
75 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, 2015.

1. Recursos hídricos. 2. Precipitação (Meteorologia) – Previsão. 3. Ciclo hidrológico – Simulação. 4. Satélites artificiais em sensoriamento remoto. 5. TRMM (Satélites). I. Cruz, Marcus Aurélio Soares, orient. II. Título.

CDU 556.12:528.837:629.783

LEONARDO TEIXEIRA ROCHA

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE USO DE
PRECIPITAÇÕES OBTIDAS POR SENSORIAMENTO
REMOTO EM SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS NA
BACIA DO RIO JAPARATUBA/SE

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos como um
dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Recursos Hídricos.

APROVADA: 24 de fevereiro de 2015

Prof. Dr. Marcus Aurélio Soares Cruz
Orientador

Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa

Prof.^a Dra. Tatiana Máximo Almeida Albuquerque

SÃO CRISTÓVÃO – SE
2015

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus e aos meus pais por terem me dado vida. Agradeço a Deus também a oportunidade de fazer uma segunda prova de seleção após a primeira ser anulada por erros no edital. (na primeira seleção não consegui chegar no horário). Agradeço aos meus pais por toda a dedicação a minha educação sempre fazendo o possível e o impossível, e pelo exemplo de pessoas dignas, honestas e justas.

Agradeço aos meus irmãos , Daniel e Roberta, que com suas mentes brilhantes e diferenciado desempenho acadêmico sempre me “obrigaram” a estudar. Agradeço a minha namorada, Bárbara, por todo o apoio, compreensão e companheirismo durante toda essa jornada.

Não poderia deixar de agradecer ao meu orientador, Marcus, que sempre me ajudou durante o curso, até mesmo quando a pesquisa pareceu estar perdida e sem solução esteve presente e me apoiou até encontrarmos uma solução, muitas vezes corrigindo trabalhos em períodos de final de semana e feriados, sempre cobrando o prazo para que eu não me perdesse no cronograma proposto. Marcus, Muito Obrigado.

Gostaria de agradecer também aos professores que participaram das minhas bancas de qualificação e de defesa (Marinoé, Tatiana e Inajá), suas sugestões e orientações foram muito úteis para a elaboração final desse trabalho.

Agradeço aos professores e funcionários do PRORH, aos colegas do curso, aos colegas do trabalho e a todos que fizeram parte direta e indiretamente de mais essa conquista em minha vida.

RESUMO

A precipitação é considerada uma das variáveis mais importantes no ciclo hidrológico, sendo constantemente empregada para a validação de modelos numéricos de previsão de tempo e clima, balanço hídrico, radiação, entre outros. A compreensão da variabilidade espacial da precipitação em determinada região é essencial, uma vez que seu padrão interanual e sazonal é crucial para a agricultura e para diversos setores da economia. Neste contexto, a confiabilidade das estimativas de precipitação torna-se de suma importância. O Brasil, com sua dimensão continental, apresenta grandes problemas com a distribuição das estações meteorológicas, onde a rede de estações não abrange todo o território de forma satisfatória, desta forma, os erros de estimativa podem influenciar significativamente na análise do escoamento superficial, do déficit hídrico e do balanço de energia. Assim, os hidrólogos do mundo inteiro têm desenvolvido técnicas alternativas para a obtenção dos valores de precipitação, dentre essas técnicas pode-se destacar as imagens por satélite. Este estudo avaliou a viabilidade de aplicação de dados de precipitação estimados via sensoriamento remoto por meio do satélite TRMM em simulação hidrológica na bacia do rio Japarutuba, também foram analisadas a correlação direta dos valores de precipitação obtidos através do TRMM com os valores medidos nas estações. Os resultados indicaram que em escalas temporais acumuladas, como dez dias e mensal as estimativas são melhores que em escala diária, na simulação chuva-vazão foram obtidos valores de 0,7 de coeficiente de Nash-Sutcliffe e 0,84 para Correlação de Pearson em escala mensal. A aplicação em modelagem hidrológica deve ser precedida de uma avaliação da qualidade dos dados frente a postos pluviométricos da região de estudo.

Palavras-chave: Modelagem; TRMM; Win_iph2; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

Precipitation is considered one of the most important variables in the water cycle constantly being used for the validation of numerical models of weather and climate forecasting, water balance, radiation, among others. Understanding the spatial variability of rainfall in a given region is essential, since its interannual and seasonal pattern is crucial for agriculture and for many sectors of the economy. In this context, the reliability of estimates of rainfall becomes paramount. Brazil, with its continental dimensions, has big problems concerning the distribution of weather stations, the network of stations does not cover the whole territory satisfactorily, thus, estimated errors can significantly influence the analysis of runoff, the water deficit and the energy balance. Thus, hydrologists around the world have developed alternative techniques for obtaining the precipitation values; among these techniques, satellite photos can be highlighted. This study assessed the feasibility of applying estimated rainfall data from remote sensing by TRMM satellite in hydrologic simulation in the Japarutuba river basin, it was also analyzed the direct correlation between the precipitation values obtained through the TRMM and the values measured at the stations. The results indicate that in accumulated time scales, as ten days or monthly, estimates are better accurate than in daily scale. The rainfall-runoff simulation values obtained were 0.7 for Nash-Sutcliffe coefficient and 0.84 for Pearson Correlation, both in a monthly scale. The application in hydrological modeling should be preceded by an evaluation of data quality comparing with the pluviometric stations of the study area.

Keywords: Modeling; TRMM; Win_iph2; Remote Sensing.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA: Agência Nacional de Aguas
AÇUMOD: Modelo Hidrologico Distribuido
CERES: Sensor de Energia Radiante da Superficie Terrestre e das nuvens
CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DEM: Digital Elevation Model
DTM: Digital Terrain Model
EV: Erro de Volume
FTP: File tranfer Protocol
FORTRAN: Linguagem de Programção
HTA: Histograma Tempo/Área
HU: Hidrograma Unitário
HEC: Hydrologic Engineering Center (US Army Corps of Engineers)
HMS: Hydrologic Modeling System.
INMET: Instituto Nacional de Meteorologia
IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas
JAXA: Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
LIS: Light imager Sensor
MDE: Modelo Digital de Elevações
MNT: Modelo Numérico do Terreno
NS: Coeficiente de Nash-Sutcliff
NEB: Nordeste Brasileiro
Pmed: Precipitação Média
PR: Precipitecion Radar
R: Coeficiente de Pearson
SCS: Soil Conservation Service
SEMARH: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIG: Sistema de Informações Geográficas
SR: Sensoriamento Remoto
SRH: Superintendência de Recursos Hídricos
SWAT: Soil and Water Assessement Tool
Tc: Tempo de Concentração
TMI: Imageador de Microondas
TOPMODEL: Topography Hydrological Model
TXT: Arquivo de texto simples sem formatação
TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission
Win_IPH2: Modelo Hidrológico Chuva-vazão

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1– Dados da Estação Capela.	29
Tabela 3.2 – Dados da estação Japarutuba.	30
Tabela 3.3 – Dados da estação Aquidabã.	30
Tabela 3.4 – Dados da estação fluviométrica Japarutuba.	31
Tabela 3.5 – Valores das áreas de influências.	37
Tabela 4.1 – Valores dos Coeficientes para a comparação diária.	43
Tabela 4.2 – Valores dos Coeficientes separados por ano.....	46
Tabela 4.3 – Valores pontuais acumulados 10 dias.	48
Tabela 4.4 – Valores pontuais acumulados 30 dias.	48
Tabela 4.5 – Precipitação Média Mensal.	50
Tabela 4.6 – Valores dos coeficientes para as 3 escalas temporais.	52
Tabela 4.7 – Parâmetros para simulação valores pontuais.	55
Tabela 4.8 – Parâmetros para simulação com dados de precipitação média.	60
Tabela 4.9 – Resumo dos Coeficientes na simulação.	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Cientistas trabalhando no TIROS 1.	13
Figura 2.2 – Imagens de Infravermelho obtidas pelo Satélite GOES 3.	14
Figura 2.3 – Tipos de Órbita de Satélites Meteorológicos.	15
Figura 2.4 – Instrumentos do TRMM.	17
Figura 2.5 – Modelo Físico em escala reduzida de uma Usina Hidrelétrica.	20
Figura 3.1 – Bacia do Rio Japarutuba.	26
Figura 3.2 – Área de contribuição da estação fluviométrica Japarutuba.	32
Figura 3.3 – Sobreposição dos pontos do TRMM sobre a área abrangência da bacia.....	34
Figura 3.4 – Arquivo .txt gerado pelo NCDUMP.	35
Figura 3.5 – Áreas de influência do Método de Thiessen.	36
Figura 4.1 – Comparação de precipitação diária para dados pontuais.	44
Figura 4.2 – Comparação dos valores pontuais acumulados 10 dias.	47
Figura 4.3 – Comparativo de valores pontuais acumulados 30 dias.	49
Figura 4.4 – Média histórica mensal para cada estação.	51
Figura 4.5 – Comparativo de chuvas média em 3 escalas temporais.	53
Figura 4.6 – Comparativo de simulação versus observado em escala diária.	56
Figura 4.7 – Simulação com dados pontuais acumulados 10 dias.	57
Figura 4.8 – Simulação com dados pontuais acumulados 30 dias.	59
Figura 4.9 – Simulações diárias com valores de precipitação média.	61
Figura 4.10 – Simulação com dados acumulados 10 dias da Precipitação média.	62
Figura 4.11 – Simulação com dados acumulados 30 dias da Precipitação média.	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DE SATÉLITE	14
2.1.1 O SATÉLITE TRMM E OS PRODUTOS 3B42 e 3B43.....	17
2.2 MODELOS MATEMÁTICOS	21
2.2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS HIDROLÓGICOS	23
2.2.2 MODELO CHUVA-VAZÃO	24
2.3 MODELO IPH II.....	25
2.4 SISTEMAS METEOROLÓGICOS QUE ATUAM NO ESTADO DE SERGIPE	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA.....	29
3.2 VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS E PARÂMETROS FÍSICOS	31
3.2.1 PRECIPITAÇÃO OBSERVADA.....	32
3.2.2 VAZÃO OBSERVADA	35
3.2.3 PRECIPITAÇÃO ESTIMADA.....	37
3.3 VAZÃO ESTIMADA	42
3.3.1 CALIBRAÇÃO DO MODELO	44
3.4 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 ANÁLISE COMPARATIVA PARA PRECIPITAÇÃO ENTRE AS ESTAÇÕES E O TRMM: PRECIPITAÇÃO PONTUAL.	47
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA PARA PRECIPITAÇÃO ENTRE AS ESTAÇÕES E O TRMM: PRECIPITAÇÃO MÉDIA.....	56
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA PARA VAZÃO ENTRE AS ESTAÇÕES E O TRMM: PRECIPITAÇÃO PONTUAL.....	59
4.3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICAS DA MODELAGEM.....	59
4.4 ANÁLISE COMPARATIVA PARA VAZÃO ENTRE AS ESTAÇÕES E O TRMM: PRECIPITAÇÃO MÉDIA.	64
5. CONCLUSÃO	69
6. REFERÊNCIAS.....	71

1.INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial tem obrigado o homem a ocupar áreas que anteriormente eram livres de ação antrópica, modificando assim o ciclo natural da vida nesses locais. Esse aumento na taxa de ocupação humana dos solos tem gerando grandes problemas à fauna e à flora, bem como mudanças significativas na dinâmica do ciclo das águas. Entretanto quando o homem ocupa uma região anteriormente selvagem ele precisa conhecer os fenômenos naturais daquela região para evitar impactos negativos ao meio ambiente ou à própria comunidade ali estabelecida.

A água é um recurso vital ao ser humano, a sua escassez (seca) pode causar muitos transtornos a uma comunidade assim como o excesso (cheias), uma vez que pode destruir plantações, habitações e causar muitos danos à sociedade. Contudo ao se conhecer o “funcionamento” do ciclo das águas pode-se prever os fenômenos de forma mais precisa e assim contribuir para um bom gerenciamento dos recursos hídricos. Vale ressaltar que os processos que regem os fenômenos hidrológicos são muito complexos e heterogêneos, dificultando assim a previsão dos fatos, pois não apresentam comportamento linear (TUCCI, 1997). Para isso é muito importante obter dados hidrológicos precisos e em quantidade representativa para que seja possível representar os fenômenos naturais em escalas matemáticas.

No mundo inteiro hidrólogos têm instalado equipamentos de medição e controle, entretanto há uma grande dificuldade na cobertura de toda a superfície terrestre devido a sua enorme extensão. No Brasil não é diferente, a grande extensão territorial e os baixos recursos implantados na gerência dos recursos hídricos fazem com que se tenha uma malha de dados muito falha e com grandes áreas sem cobertura. Devido a essa dificuldade em obtenção de dados precisos sobre toda a superfície terrestre muitos cientistas criaram métodos para a obtenção de dados de forma remota, sendo um deles por varredura de satélite, cujos sistemas vêm apresentando grande evolução nos últimos anos (FARIAS et al., 2013).

Do ponto de vista hidrológico, cada região apresenta características específicas de clima, solo, taxa de ocupação, etc.; a alteração no tipo de ocupação do solo pode gerar mudanças significativas na dinâmica das águas, alterando as taxas de infiltração, escoamento, evapotranspiração e até mesmo precipitação (COSTA et al., 2003). Para identificar esses impactos é necessário delimitar a área de influência do solo sobre um corpo d'água. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos,

estabelecida pela Lei Federal n.º 9.433/97, define que a unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica, estabelecida como o sistema “fechado” de balanço dos processos hidrológicos. Assim sendo, a avaliação das alterações no ciclo hidrológico decorrentes de intervenções humanas em uma determinada região deve considerar a bacia hidrográfica como o espaço geográfico de ação.

Para auxiliar na obtenção de dados representativos para os recursos hídricos foram criados os modelos matemáticos, que têm como função proporcionar uma estrutura de algoritmo que tenta representar a realidade em expressões matemáticas com a menor taxa de erro possível. Os modelos hidrológicos são formados por uma ou mais linguagens de programação que permitem a interação entre os dados, simulando a ocorrência de um fenômeno na natureza (TUCCI, 2005).

A aplicação dos modelos na área de recursos hídricos aumenta a cada dia, devido às melhorias na qualidade de *hardware* e *software*. Em estudos hidrológicos, o modelo mais comum é o CHUVA-VAZÃO onde o usuário alimenta o sistema com valores de precipitação de uma determinada região e o modelo gera um valor de vazão simulado para a saída da rede de drenagem dessa região. Nesses modelos é possível prever vazões máximas e mínimas assim como identificar períodos de cheia e de seca (TUCCI, 2005).

Segundo Cruz (2009) as bacias hidrográficas no Estado de Sergipe apresentam-se em diferentes estágios de degradação resultantes de atividades agrícolas, extrativistas, urbanas e industriais, que promovem alterações significativas nos processos hidrológicos e na qualidade das águas dos rios do Estado.

A bacia do rio Japarutuba, que apresenta o rio principal de mesmo nome, sofre dos problemas de degradação comum aos rios sergipanos, no que diz respeito à sua cobertura vegetal, que tem sofrido muitas mudanças com o passar do tempo. As atividades agropecuárias têm crescido muito na região, principalmente a monocultura da cana-de-açúcar, ocasionando a remoção da mata ciliar e a descaracterização da vegetação nativa. Atualmente a bacia do rio Japarutuba apresenta poucas estações pluviométricas com séries longas, dificultando a realização de estudos hidrológicos consistentes em diferentes regiões. Nesse sentido, este estudo visa utilizar os valores de precipitação obtidos via sensoriamento remoto em um modelo hidrológico para verificação da viabilidade de aplicação desses dados na região da bacia do rio Japarutuba.

1.1 OBJETIVO

O objetivo geral dessa pesquisa é avaliar a qualidade dos dados de precipitação fornecidos pelo algoritmo 3B42_V7 do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) no contexto de simulação hidrológica chuva-vazão, para a região da bacia do rio Japaratuba-SE.

Objetivos Específicos

- Determinar os valores e precipitação média e pontual para a bacia do rio Japaratuba a partir dos dados diários da grade TRMM;
- Realizar análise comparativa com dados de precipitação medidos em campo em diferentes escalas temporais;
- Realizar a simulação chuva-vazão com modelo concentrado utilizando os dados do TRMM em passo diário, decendial e mensal;
- Avaliar a qualidade das simulações por meio de coeficientes estatísticos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DE SATÉLITE

A precipitação é considerada uma das variáveis mais importantes no ciclo hidrológico, sendo constantemente empregada para a validação de modelos numéricos de previsão de tempo e clima, balanço hídrico, radiação, entre outros. A compreensão da variabilidade espacial da precipitação em determinada região é essencial, uma vez que seu padrão interanual e sazonal é crucial para a agricultura e para diversos setores da economia. Neste contexto, a confiabilidade das estimativas de precipitação torna-se de suma importância (SILVA et al., 2012).

O Brasil, com sua dimensão continental, apresenta problemas com a distribuição das estações meteorológicas, pois elas não abrangem todo o território de forma satisfatória (ANA, 2012). Além disso, precipitações isoladas que podem ocorrer em determinada área da bacia hidrográfica e que não são contabilizadas na estação meteorológica mais próxima podem influenciar significativamente a análise do escoamento superficial, do déficit hídrico e do balanço de energia. Devido a esse grande déficit em cobrir áreas extensas, os hidrólogos do mundo inteiro têm desenvolvido técnicas alternativas para a obtenção dos valores de precipitação, dentre essas técnicas pode-se destacar as imagens de satélite (COLLISCHONN, 2006).

As imagens de satélite têm se constituído numa ferramenta para obtenção de diversos componentes do ciclo hidrológico. O primeiro satélite meteorológico a ser lançado no mundo foi o Television and InfraRed Observation Satellite (TIROS 1). Na figura 2.1 pode-se visualizar O TIROS 1, ainda em terra, sendo testado pelos cientistas da National Aeronautics and Space Administration (NASA). O TIROS 1 foi lançado nos Estados Unidos pela NASA em 1960 na base aérea situada no Cabo Canaveral no estado da Flórida. Naquela época, cientistas em todo o mundo já suspeitavam ser possível determinar a ocorrência e até mesmo a intensidade de eventos chuvosos a partir de análise da resposta espectral dos topos das nuvens, antes mesmo do TIROS 1 entrar em funcionamento e fornecer as primeiras imagens de topos de nuvens, em abril de 1960 (MAZIERO et al apud PETTY, 1995).

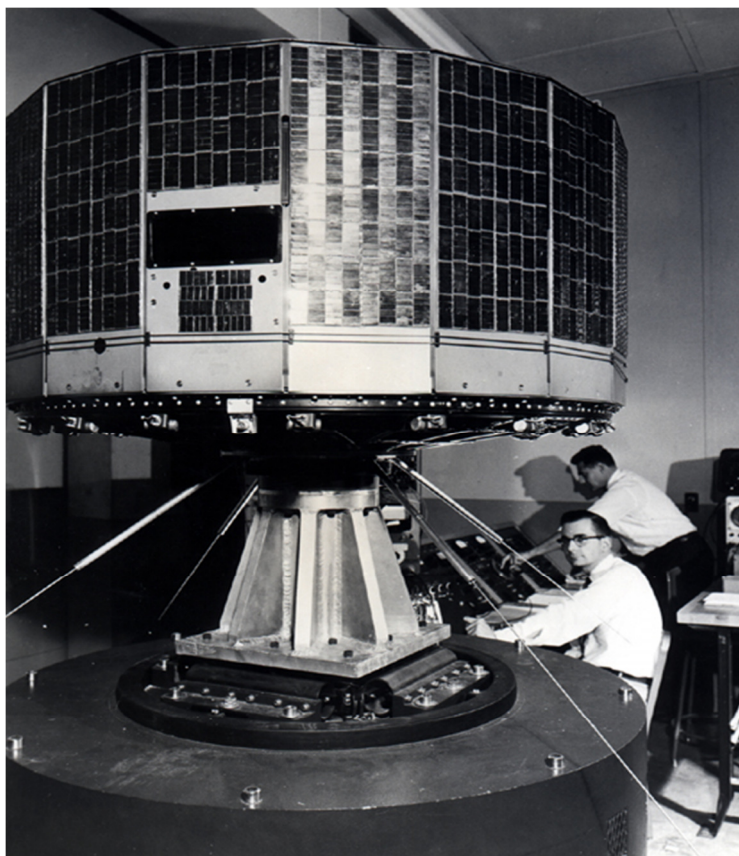


Figura 2.1- Cientistas trabalhando no TIROS 1.

Fonte: (NASA, 2014)

As estimativas de precipitação através de sensoriamento remoto em faixas do espectro de luz baseia-se nas respostas à reflexão da luz pelas nuvens, que são transformadas em informações a respeito de sua espessura e consequentemente do volume de água em seu interior. Pode-se também determinar a temperatura dos topos das nuvens através da medição em bandas de infravermelho, essas foram as duas primeiras variáveis na tentativa de estimar precipitação por satélite. Contudo logo pôde-se deduzir que apenas essas duas variáveis não eram suficientes para a obtenção de valores de precipitação, pois nem toda nuvem com potencial para precipitar efetivamente produzirá precipitação (LEVIZZANI et al, 2002).

Um marco na estimativa de precipitação por satélite foi o emprego de sensores de microondas que respondem de forma física à presença de água e/ou cristais de gelo nas nuvens, resultando em estimativas melhores do que as obtidas com base em imagens no espectro infravermelho (RAMAGE et al., 2003). Pode-se observar na figura 2.2 imagens geradas pelos sensores de infravermelho do satélite GOES 3.

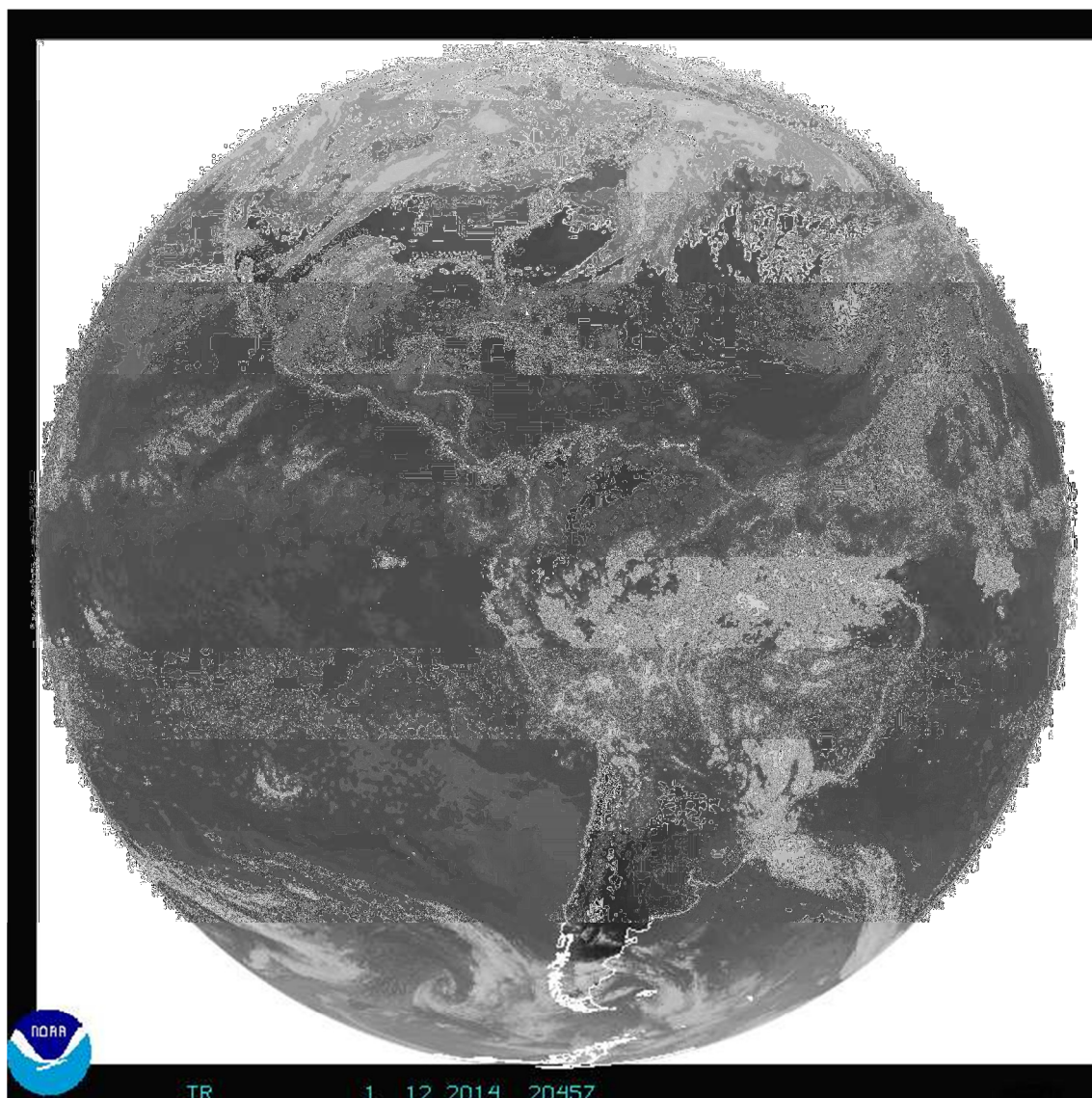


Figura 2.2- imagens de infravermelho obtidas pelo satélite GOES 3.

Fonte: (NASA, 2014)

Os satélites espaciais artificiais com ênfase em medição meteorológica podem ser do tipo heliosíncrono ou geoestacionário. Os satélites heliosíncronos também chamados de polares apresentam órbita elíptica e circulam a Terra em uma órbita quase polar com períodos diferentes da rotação terrestre podendo assim visualizar toda a superfície terrestre em períodos previamente determinados. Já os satélites geoestacionários apresentam órbita coincidente com a rotação da Terra, apresentando uma posição estacionária relativa a Terra, visualizando sempre a mesma área da superfície terrestre conforme pode-se observar na figura 2.3 (PASSOW, 2010).

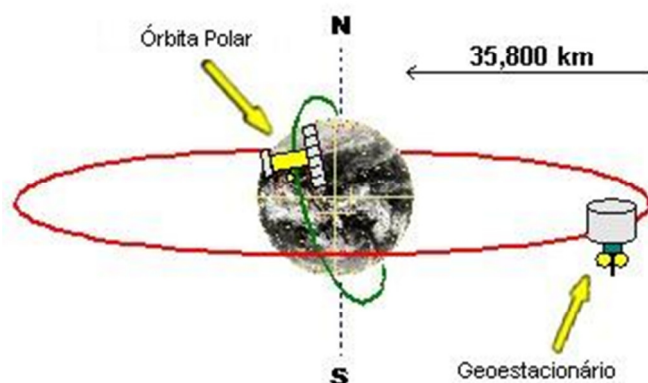


Figura 2.3 - Tipos de órbita de satélites meteorológicos.

Fonte: (INPE,2014)

Chuvas tropicais afetam a vida e a economia da metade da população terrestre, residentes principalmente nos países em desenvolvimento. A variação das chuvas nos trópicos também pode afetar o clima em locais a milhares de quilômetros de distância, influenciando a vidas e os meios de subsistência das populações em todo o mundo. Por exemplo, os sistemas tropicais, como tufões, furacões e monções podem produzir inundações em todo o mundo. A precipitação e a temperatura compõem os dois principais fatores na definição do clima. O excesso de chuvas pode causar enchentes e danos às culturas assim como o déficit pode ocasionar seca. A grande importância que o conhecimento das precipitações tem para o entendimento do clima mundial fortalece assim a área de atuação da missão TRMM (EO/NASA 2014) cujo produto será utilizado neste estudo e detalhado no item seguinte.

2.1.1 O SATÉLITE TRMM E OS PRODUTOS 3B42 e 3B43

O satélite TRMM está em órbita desde novembro de 1997 em uma parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), com objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nas áreas tropicais (COLLISCHONN et al., 2007).

O satélite TRMM tem vasta literatura a respeito de sua estrutura e funcionalidade, existem vários trabalhos que descrevem seus instrumentos internos, componentes físicos e algoritmos de obtenção de dados. Nos próximos parágrafos será apresentada uma síntese das características dos TRMM com base no manual realizado

pela própria agência idealizadora do projeto, a NASA e o estudo de Levizzani et al. (2002).

O satélite TRMM possui cinco instrumentos a bordo, são eles: imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor imageamento de relâmpagos (LIS) apresentados na figura 2.4. Dentre os cinco instrumentos citados somente três estão diretamente ligados à obtenção de dados de precipitação. O PR foi concebido pela JAXA como parte da sua contribuição no projeto TRMM e foi o primeiro radar meteorológico a ser lançado a bordo de um satélite, permitindo produzir mapas tridimensionais da estrutura da precipitação. O PR determina a distribuição vertical da precipitação por medição da refletividade do sinal emitido pelo radar, relacionando com o enfraquecimento do sinal ao atravessar a precipitação. Uma característica única do PR é a medição de chuva sobre a terra, onde os canais de microondas passivos têm mais dificuldade. O TMI é um radiômetro multicanal cujos sinais em combinação podem medir a precipitação com bastante precisão sobre os oceanos e um pouco menos precisa sobre a terra. Os dados TMI irão atuar juntos com o PR para produzir os valores de precipitação primários. O VRS mede radiação em cinco larguras de banda do visível utilizando-se das regiões do espectro infravermelho. Os dados do infravermelho (IR) são utilizados para obter estimativas aproximadas de precipitação tropical. O VIRS é o terceiro componente do pacote de chuva do TRMM ajudando assim a melhorar a precisão dos seus dados. Os dois componentes restantes são o LIS, que irá investigar a distribuição e variabilidade de relâmpagos sobre a Terra, e o CERES, um sensor visível / infravermelho projetado especialmente para medir a energia dissipada pela superfície da Terra e da atmosfera. Esta energia, quando balanceada com a energia recebida pela Terra proveniente do Sol, constitui balanço de radiação da Terra. Compreender o balanço da radiação é importante para a compreensão do clima e da sua variabilidade.

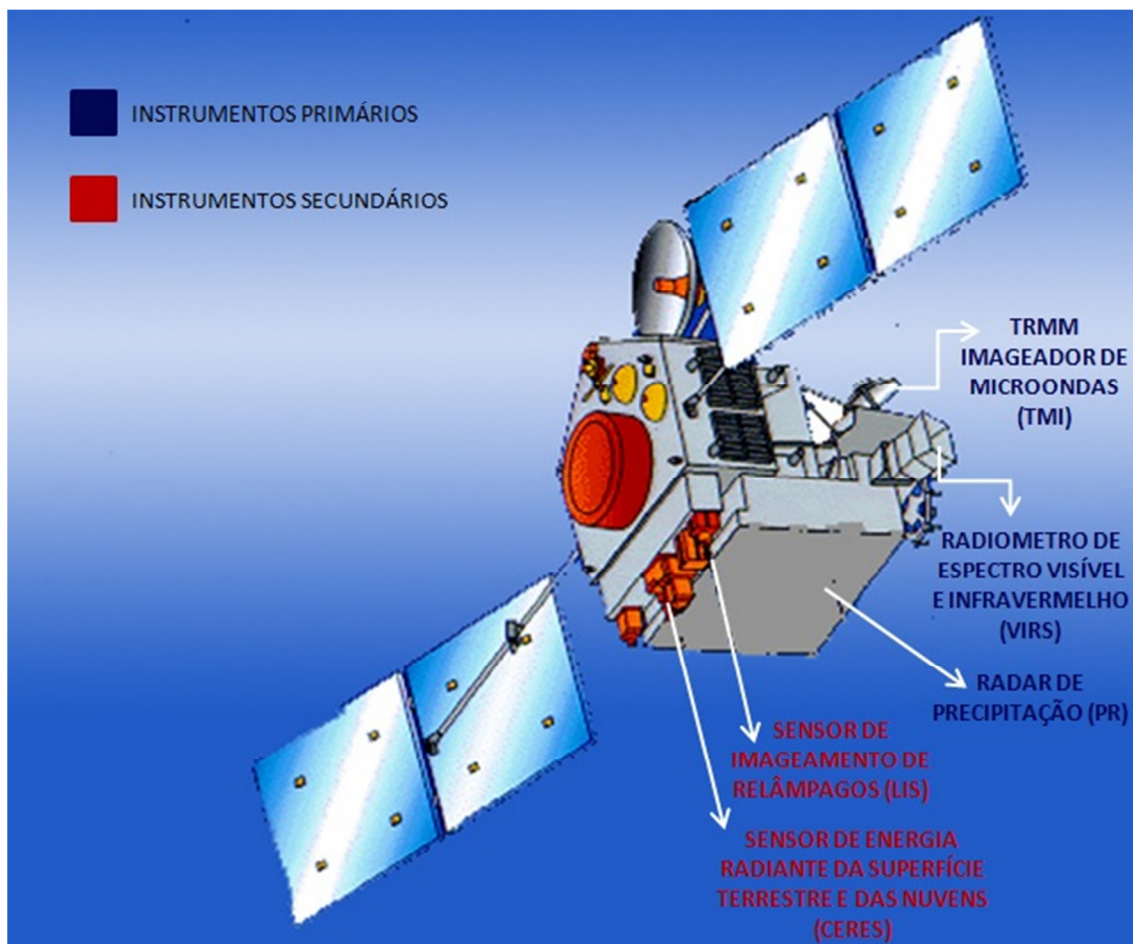


Figura 2.4- Instrumentos do TRMM.

Fonte: adaptado de (NASA, 2014)

O satélite possui órbita oblíqua não heliossíncrona situada a pouca distância da superfície terrestre (inicialmente 350 km, desde 2001 cerca de 403 km), de forma que o período de translação é bastante curto (cerca de 90 minutos), permitindo resoluções espacial e temporal comparativamente altas. A órbita deste satélite foi calculada para se ter uma elevada capacidade de amostragem diária sendo os seus dados estimados a cada 3 horas com uma resolução espacial de $0,25^\circ$ abrangendo as latitudes 50°N a 50°S . Para melhorar a precisão das estimativas, existe um programa paralelo de validação em campo (Ground Validation ou GV), contando com radares meteorológicos em diversas estações ao longo da faixa intertropical.

O produto 3B42_V7 do projeto TRMM, que será usado neste trabalho, é uma estimativa de precipitação gerada a cada 3 horas pelo seu algoritmo. A estimativa 3B42_V7 é feita em duas fases. Na primeira, o algoritmo combina a precipitação estimada pelo TMI e o perfil de precipitação do PR, isso gera um produto mensal com

espaçamento horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, que é chamado de 3B31. Em seguida, o 3B41 é usado para corrigir as estimativas de precipitação feitas através do satélite GOES, que é dada a cada 3 horas. Portanto, o produto 3B42_V7 apresenta espaçamento horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e frequência de 3 horas (JAVANMARD et al, 2010; NASA, 2014). O processo completo de detalhamento do algoritmo pode ser visualizado em <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>.

A partir o produto 3B42_V7 pode-se obter também o produto 3B43_V7, que é uma estimativa mensal de precipitação que combina a estimativa a cada 3 horas do algoritmo 3B42_V7 com a precipitação observada por pluviômetros do projeto Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). O projeto GPCC foi criado em 1989 a pedido da Organização Meteorológica Mundial (OMM). É operado pela Deutscher Wetterdienst (DWD, Serviço Meteorológico Nacional da Alemanha) como contribuição alemã para o World Climate Research Programme (WCRP). O foco do GPCC é a análise global de precipitação mensal na superfície da Terra com base em dados de estações pluviométricas instaladas em solo. Os produtos GPCC, conjunto de dados mensais de precipitação para a superfície terrestre, estão disponíveis em resoluções espaciais de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ e $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de latitude por longitude, e formam o maior banco de dados mensal de estação de precipitação do mundo, com dados de mais de 85.000 estações diferentes distribuídas pelos continentes.

Por se tratar de medidas de precipitação in situ, medindo as precipitações efetivamente ocorridas e não estimadas, apresenta teoricamente menos erros. O produto 3B43_V7 é, portanto, uma estimativa de precipitação mensal que combina dados de satélites e medidas in situ sobre áreas continentais. A cobertura dos dados é de 50°S a 50°N em latitude e global em longitude. Apresenta espaçamento horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, ou seja, aproximadamente 25 km nos trópicos. Tem a vantagem de cobrir tanto áreas continentais quanto oceânicas, o que não é possível com os dados do GPCC (FLEMING et al, 2011).

No caso do Brasil, há trabalhos pontuais com o objetivo de estimar precipitação por satélite em várias regiões com certa tendência para as áreas mais distantes dos grandes centros urbanos. Alguns exemplos são o trabalho de Collischonn (2006) referente à bacia do São Francisco e à bacia do rio Paraguai (COLLISHONN, 2007), Leivas et al (2009) na bacia do rio Amazonas, Farias et al (2013) no estado de Goiás. Todos os trabalhos citados concluíram que a estimativa de precipitação do satélite TRMM é bastante precisa quando comparada com dados medidos em solo,

principalmente quando tratada em escalas de tempo maiores como acumulados anuais. Collischonn (2006) mostrou que além de fornecer bons resultados, a estimativa de satélite pode ajudar a identificar pluviômetros com problemas na leitura ou mal localizados, constituindo-se em ferramenta para consistência de dados.

Collischonn et al. (2007) realizou trabalho na bacia do Paraguai e chegou à conclusão que informações deste satélite podem ser uma fonte alternativa para suprir a baixa densidade de pluviômetros instalados na região. Segundo Leivas et al. (2009) as estimativas de precipitação oriundas do TRMM são consistentes, mostrando boa acurácia com o regime pluviométrico registrado em superfície, podendo-se afirmar que dados de satélite são uma alternativa para obtenção de dados de superfície.

Recentemente um estudo realizado por Pereira et al. (2013) comparou os dados do produto 3B43_V7 do TRMM com uma rede de dados de estações pluviométricas instaladas e administradas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia (CPTEC/INMET) e constatou que, de uma maneira geral, pode-se verificar que os dados de precipitação mensal estimada pelo TRMM e por 183 estações espalhadas por todo o Brasil (64 localizadas na região Nordeste, 39 na região Norte, 8 na região Centro-Oeste, 27 na região Sul e 45 na região Sudeste) apresentam uma concordância de aproximadamente 97%. Entretanto há uma tendência para a superestimação dos dados de precipitação pelo satélite TRMM em relação aos valores observados pelas redes de estações meteorológicas do INMET/CPTEC, que variaram de 8% a 13% dentre as regiões brasileiras. Nesse estudo o autor concluiu também que, apesar de os dados do TRMM apresentarem pouco mais de um década de observações, percebe-se uma boa concordância entre os padrões espaciais da precipitação anual.

2.2 MODELOS MATEMÁTICOS

Modelos são representações aproximadas do comportamento de um sistema. Podem ser classificados em: físicos, analógicos e matemáticos. Modelos físicos vêm sendo utilizados há muitos anos por todas as ciências, apresentando uma grande importância na Engenharia Hidráulica e Aeronáutica. Contudo devido à necessidade de material, espaço e mão de obra qualificada para sua construção, a quantidade de modelos físicos vem diminuindo com o passar dos anos. Atualmente ainda são

utilizados muitos modelos físicos como por exemplos os modelos em escala reduzidas de barragens apresentado na figura 2.5. Contudo em algumas situações os modelos físicos vêm sendo substituídos pelos modelos matemáticos computacionais que devido ao grande avanço dos *hardware e software* de controle das equações aumentam a cada dia a qualidade e confiabilidade dos dados gerados.

Modelos matemáticos são representações simplificadas do ambiente natural, é uma forma de descrever toda a complexidade dos eventos naturais em equações matemáticas. Contudo todo modelo matemático baseia-se na hipótese da simplificação, pois é impossível descrever em sua totalidade todos os eventos naturais (BARBOSA, 2009).



Figura 2.5- modelo físico em escala reduzida de uma usina hidrelétrica.

Fonte:(LACTEC,2014)

Segundo Maziero et al. (2009) mesmo com limitações, os modelos são ferramentas essenciais de auxílio ao entendimento das interações dos processos físicos que ocorrem na natureza. Desta forma, faz-se a seleção, no sistema, de parâmetros e argumentos essenciais para representá-los através de um sistema artificial controlado. Um modelo é normalmente uma simplificação do mundo real ou alguma forma conveniente de trabalhar com este mundo, mas as características essenciais do mundo real devem aparecer no modelo, de modo que o seu comportamento seja semelhante àquele do sistema modelado.

Os modelos hidrológicos em geral possuem parâmetros que caracterizam o sistema. Alguns desses parâmetros são pura abstração matemática e, por isso, não podem ser medidos na natureza. Existem outros que podem ter seus valores estimados através de medidas em campo. Entretanto, muitas vezes os altos custos da amostragem ou monitoramento fazem com que a determinação desses parâmetros em campo se torne inviável. Para suprir a ausência de medição, pode-se realizar o ajuste dos valores dos parâmetros através do processo de calibração, com base nas informações hidrológicas existentes na bacia.

A calibração é uma técnica de otimização matemática, em que os valores dos parâmetros de um modelo de simulação são modificados pelo usuário ou por um algoritmo automatizado. Seu objetivo é encontrar um conjunto de parâmetros que minimize (ou maximize) uma ou mais medidas de desempenho previamente definidas (Tassi et al, 2006). As medidas de desempenho são representadas por funções, conhecidas de funções-objetivo, que medem as diferenças existentes entre a série de vazões calculadas pelo modelo e a série de vazões observadas. O primeiro método de calibração utilizado pelos hidrólogos foi a calibração manual por tentativa e erro. Esse método consiste na operação de uma rotina interativa, onde o usuário altera manualmente os valores dos parâmetros em cada simulação com o objetivo de obter um resultado válido para a comparação entre vazões calculadas e observadas. Esse processo continua até que se alcance um resultado satisfatório dentro da exigência estabelecida. Por se tratar de um processo totalmente manual, envolve muito o conhecimento e experiência do usuário que está operando a calibração. Contudo isso pode se tornar um problema para atividades mais complexas onde existe um grande número de parâmetros.

2.2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS HIDROLÓGICOS

Segundo Tucci (2005), os modelos hidrológicos podem ser classificados sob diversos critérios: de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos); com o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou baseados em processos); com a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos); com a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos); e com a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos).

2.2.2 MODELO CHUVA-VAZÃO

Os modelos hidrológicos chuva-vazão são modelos que utilizam dados da precipitação ocorrida em uma determinada área para estimar a vazão produzida por essa precipitação. Esses modelos necessitam de várias informações sobre a área a ser estudada como, por exemplo, taxa de infiltração, série histórica de precipitação, relevo entre outros. Segundo Tucci (2005) os modelos “chuva-vazão” devem descrever a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressão do solo, o fluxo através do solo pela infiltração, percolação e água subterrânea, escoamento superficial, sub-superficial, e no rio.

Segundo Saraiva (2011) um modelo de simulação hidrológica chuva-vazão, é uma representação matemática simplificada dos processos que ocorrem no ciclo da água em uma bacia hidrográfica, e é utilizado para simular respostas da bacia a eventos de precipitação.

Esses modelos também utilizam outras áreas com características semelhantes para estimar os parâmetros, assim como técnicas de calibragem obtidas com dados de medições anteriores. Os modelos de transformação de chuva em vazão possuem parâmetros que buscam representar o ambiente real. Devido ao grau de abstração dos modelos, alguns parâmetros não são medidos e outros podem ter seus valores estimados com base em medições em campo (MAZIERO et al 2009).

Os modelos chuva-vazão podem ser concentrados ou distribuídos. Em modelos concentrados, considera-se que todas as variáveis de entrada e saída são representativas de toda área estudada. Por outro lado, os modelos distribuídos consideram a variabilidade espacial encontrada nas diversas variáveis do modelo. De maneira geral, alguma discretização do espaço é feita e consequentemente cada elemento pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área. Modelos distribuídos mais realistas consideram também a existência de relação espacial entre elementos vizinhos. Modelos chuva-vazão concentrados são bastante empregados em pequenas bacias. Tucci (2005) descreve o IPH2, como um modelo hidrológico chuva-vazão do tipo pontual ou concentrado, que considera que todas as variáveis de entrada e de saída são representativas de toda a área estudada.

O SMAP é outro modelo concentrado bastante empregado. Sua metodologia de simulação de vazão diária é constituída pela representação das fases do escoamento (superficial, base e subterrâneo) em três reservatórios: reservatório do solo, reservatório

da superfície da bacia e reservatório subterrâneo, com necessidade de atualização diária de suas variáveis (SANTOS et al, 2013).

O Topography Based Hydrological Model (TOPMODEL), é um modelo do tipo conceitual e semi-distribuído que considera área variável de contribuição à formação de escoamento superficial. Os fatores que determinam o surgimento do escoamento superficial são representados pela topografia do terreno e por uma lei exponencial que relaciona a transmissividade com a profundidade do solo, medida a partir de sua superfície (VARELLA et al., 2000 apud BEVEN et al.,1994).

O AÇUMOD é um modelo hidrológico distribuído que efetua o balanço hídrico dos açudes implantados na rede de drenagem da bacia hidrográfica, considerando as respectivas regras de operação dos mesmos. Neste modelo, o espaço geográfico da bacia hidrográfica é discretizado em uma malha retangular formada por quadrículas quadradas embutidas. Em cada quadrícula, o ciclo hidrológico é representado por um modelo hidrológico conceitual (SILANS et al, 2000).

Outro modelo distribuído que vem sendo muito utilizado é o modelo SWAT. O SWAT é um modelo conceitual que opera em escala diária. O objetivo da sua criação foi a previsão de impactos no manejo das águas para grandes bacias, no que diz respeito a escoamento, transporte de sedimentos e componentes químicos derivados da agricultura. A utilização desse modelo está vinculada a utilização de software que processe mapas digitais contendo: Modelo digital de Elevação de Terreno (DEM), tipo de solo, cobertura e ocupação do terreno. O SWAT após processar as informações de mapa subdivide a região em inúmeras sub-bacias e as calcula independentemente considerando as características peculiares de cada local, com isso o modelo consegue obter boa precisão nas simulações, Contudo apresenta grande complexidade de cálculo e necessidade de muitos dados de entrada. (ARNOLD et al. , 1998; BALDISSERA, 2005; DECHMI et AL, 2012 ; FUCUNAGA et AL, 2015).

2.3 MODELO IPH II

O modelo IPH II foi desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). É um modelo chuva-vazão semiconceitual simples, com poucos parâmetros. Foram desenvolvidas outras versões do modelo IPH II. O IPH III utiliza o IPH II para simular o escoamento e segue com a propagação das vazões no rio principal pelo método da onda cinemática. O IPH

IV utiliza a versão II para simular o escoamento na bacia e um modelo hidrodinâmico que usa um esquema implícito de diferenças finitas para simular o escoamento no rio. Há também o modelo IPH mensal, com intervalo de tempo mensal, proposto com o objetivo de obter resultados rápidos para problemas básicos de balanço hídrico ou quando os dados diários não estão disponíveis (TUCCI, 2005).

O modelo IPH II apresenta grande detalhamento na literatura, sendo documentado em livros e trabalhos provenientes do IPH-UFRGS entre outras instituições de pesquisas do País (TUCCI et al, 1981; TUCCI E CAMPANA, 1993).

O modelo IPH foi usado por Bertoni et al (1992) para previsão de cheias em tempo real para a bacia do rio Ray, região sul do Reino Unido. Germano et. al. (1998) utilizou o modelo IPH2 para ajustar os parâmetros hidrológicos à eventos de cheia e características físicas de 28 bacias urbanas em 6 cidades brasileiras. Brun e Tucci (2001) utilizaram o IPH para a previsão de volume afluente no reservatório da usina hidroelétrica de Ernestina no Rio grande do Sul. Dentre vários outros trabalhos realizados no país.

No item Materiais e métodos, será descrita a estrutura do modelo IPH2 em maior detalhe.

2.4 SISTEMAS METEOROLÓGICOS QUE ATUAM NO ESTADO DE SERGIPE

O estado de Sergipe é o menor estado da federação e está situado na região Nordeste brasileira, apresentando as influências dos sistemas meteorológicos característicos dessa região. Esses fenômenos atuam em sub-regiões distintas e também se superpõem em algumas sub-regiões do estado nas mesmas épocas ou em períodos diferentes. Alguns desses sistemas são influenciados pelo albedo e pela orografia. O regime pluviométrico do Estado de Sergipe está associado às condições atmosféricas e sistemas sinóticos que atuam nos setores Norte e Leste do Nordeste do Brasil (NEB) e possui uma característica própria, diferente dos demais regimes da região do NEB, apresentando uma grande variabilidade interanual (com desvio da média climatológica superior a um desvio padrão). (Costa et al, 2011)

Devido à sua posição geográfica espacial, Sergipe possui uma característica de transição entre os regimes pluviométricos do norte (com máximos de fevereiro a

maio) e do sul do NEB (dezembro a fevereiro). O máximo pluviométrico ocorre em maio. Segundo COSTA et al.(2011) mesmo sendo um estado com uma área pouco expressiva, cerca de 21.910 km², ocorrem em Sergipe pelo menos seis sistemas meteorológicos que determinam as precipitações em Sergipe, sendo elas:

- Zona de Convergência Intertropical (ZCIT),
- Frentes frias,
- Distúrbios de Leste,
- Ciclones na média e na alta troposfera do tipo baixas frias (conhecidos como Vórtices Ciclônicos de Ar Superior - VCAS),
- Brisas terrestre e marítimas,
- Oscilações de 30-60 dias.

A Zona de Convergência intertropical (ZCIT) atua em Sergipe de fevereiro a maio sendo o sistema responsável pelos maiores volumes de precipitação. A ZCIT é uma faixa que corresponde à convergência dos ventos tropicais (“tradewinds” ou “alíseos”) dos hemisférios norte e sul, os quais sopram em média das direções nordeste e sudeste, respectivamente. Trata-se de uma zona de alta instabilidade, pois os ventos que ali convergem ascendem às camadas superiores da atmosfera, dando origem a um cinturão de nuvens facilmente identificáveis através de imagens de satélite. (XAVIER et al., 2003).

As frentes frias provenientes de regiões subantárticas atuam com mais intensidade nas regiões sul e sudeste atuando praticamente a cada cinco dias, contudo poucos desses sistemas conseguem chegar ao NEB brasileiro com capacidade de influenciar na ocorrência de precipitação. Esses sistemas podem influenciar na precipitação nos meses de abril a agosto, interagindo, em alguns casos, com outros sistemas meteorológicos. Sergipe recebe o máximo de precipitação no período de maio a julho, justamente durante o início do inverno do Hemisfério Sul – época em que as frentes frias são mais intensas. (LIMA e PINTO, 2012).

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) são sistemas de escala sinótica que ocorrem na baixa Troposfera Tropical, e quando se formam na região do Oceano Atlântico Sul apresentam deslocamentos para o oeste intensificando-se à medida que se aproximam da costa leste da Região Nordeste do Brasil (SILVA, 2010). As ondas de

leste são normalmente fenômenos de baixa amplitude, contudo podem produzir chuvas intensas e inundações, particularmente em áreas costeiras. (LIMA e PINTO, 2012).

Os vórtices ciclônicos são sistemas muito instáveis e podem produzir tanto chuvas intensas como estiagem, além da presença de ventos fortes. A ação do sistema pode permanecer por até 3 semanas e no Estado de Sergipe ocorre principalmente nos meses de novembro a fevereiro, podendo ocorrer também entre os meses de março e abril. O aparecimento desses vórtices está relacionado com a circulação geral da atmosfera, com a posição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (um sistema sazonal) e a penetração de frentes frias do sul. (PAIXÃO, 1999).

Os sistemas de brisa produzem chuvas de intensidade fraca a moderada e são observados no Litoral e Zona da Mata do NEB. O sistema ocorre com maior frequência nos meses de outono e inverno. A brisa é a parte superficial de uma circulação térmica causada pelo aquecimento diferencial dos oceanos e da superfície continental da Terra. O ar quente sobe trazendo com ele a umidade que condensa e formam as nuvens. O ar desce nas áreas mais frias. Por continuidade, o vento superficial sopra das áreas mais frias para as mais quentes, completando a circulação. (FERREIRA e MELLO, 2005)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho teve por objetivo verificar a qualidade dos dados diários de precipitação obtidos através do satélite TRMM e a possibilidade da utilização desses dados em simulações hidrológicas Chuva-Vazão. Para a obtenção desses resultados serão feitas duas etapas principais; comparações entre series de precipitação observada versus estimada pelo satélite e comparação de dados de vazão simulados a partir de dados de precipitação observada em campo e simulados a partir dos dados do satélite. Nestas avaliações foram considerados aspectos ligados a escalas espacial e temporal. Espacialmente, os dados de precipitação observada e estimada foram comparados pontualmente, ou seja, dados registrados em postos pluviográficos versus dados interpolados do satélite nas mesmas coordenadas geográficas; e por valores médios ponderados pela área de influência dos postos e da grade dos dados TRMM. Na escala temporal, foram selecionadas três durações: valores diários, acumulados de dez dias e mensais.

Os dados de entrada e as etapas principais da modelagem são apresentados na sequência.

3.1 A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAPARATUBA

A bacia hidrográfica do rio Japaratuba está totalmente inserida no Estado de Sergipe, localizada nas coordenadas geográficas (10°13'00'' e 10°47'00'' de latitude Sul e 36°48'00'' e 37°19'00'' de longitude oeste). O seu rio principal leva o mesmo nome da bacia e tem extensão de 135 km. A bacia possui uma área de 1685 km² e perímetro de 247,30 km, um mapa da bacia do Rio Japaratuba e a sua localização no Estado de Sergipe está representado na figura 3.1. Dentre os afluentes que compõem a bacia, os mais importantes são: rio Siriri, pela margem direita, e o rio Japaratuba Mirim, pela margem esquerda (ARAGÃO & ALMEIDA, 2009). Para esses rios, em termos de desenvolvimento da rede de drenagem, a bacia do Rio Japaratuba, com sua drenagem principal, atinge a sexta ordem, a bacia do rio Siriri a quinta ordem e a Bacia do Rio Japaratuba-Mirim, a quinta ordem. Isto implica que as referidas bacias são pouco drenadas. A bacia do Rio Japaratuba abrange o território de vinte municípios sergipanos (Figura 3.1) dos quais apenas cinco estão nela totalmente inseridos (Capela, Carmópolis, Cumbe, General Maynard e Rosário do Catete), e os demais parcialmente

inseridos. A população está dividida entre 62,4% na área urbana e 37,6% na área rural (ARAGÃO & ALMEIDA, 2009).

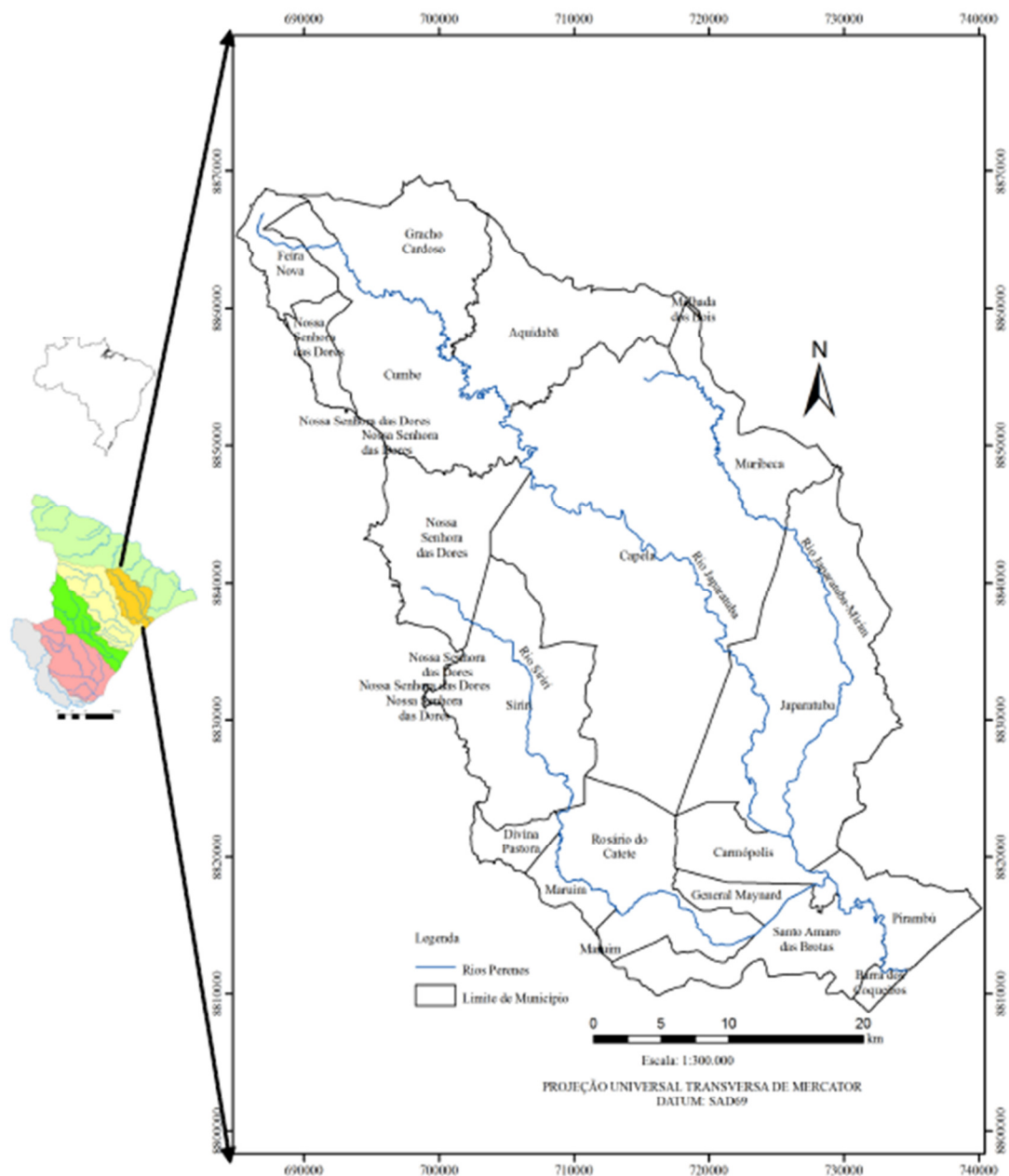


Figura 3.1- Bacia do rio Japaratuba.

Fonte: (ARAGÃO, 2011)

A bacia do rio Japaratuba é a menor bacia do Estado de Sergipe com área equivalente a 7,65% do território sergipano. Apesar de ser a menor bacia, apresenta uma grande importância na economia estadual. Em sua área encontra-se instalado o Campo Petrolífero de Carmópolis, o maior do país em terra firme, com área superior a 150 km², abrigando mais de 1.200 poços. No setor agropecuário, recentemente tem sido observado o avanço da cultura da cana-de-açúcar em diversas partes da bacia,

principalmente em sua porção oeste, além da utilização histórica de grandes áreas para pastagens em sua porção centro-norte. A bacia do Japaratuba tem sido fortemente impactada há várias décadas, quer seja por atividades extrativistas (petróleo, gás, potássio), quer por atividades agropecuárias, apresentando atualmente uma predominância pela monocultura da cana-de-açúcar. Atualmente apresenta sinais de degradação da qualidade ambiental nos corpos hídricos, como o assoreamento em vários pontos, com redução de calhas; queda da qualidade da água pela presença de nutrientes e redução da diversidade biológica e eliminação da vegetação ciliar, contribuindo para a erosão das margens (CRUZ, 2009).

A bacia obedece às tendências climatológicas da região do Nordeste brasileiro na qual está inserida, em que o período chuvoso encontra-se assim descrito: litoral úmido (Precipitação média de 1000 a 1400 mm; período chuvoso entre abril e agosto), agreste (Precipitação média de 700 a 900 mm; período chuvoso entre abril e agosto), semiárido (Precipitação média de 400 a 700 mm; período chuvoso entre janeiro e maio). A temperatura média anual é de 25 °C. A umidade relativa do ar é da ordem de 74%. A bacia é composta pelas sub-bacias dos rios Japaratuba (54% da área total), Siriri (26% da área total) e Japaratuba-Mirim (20% da área total). O clima na bacia varia de sub-úmido úmido, na região da foz do rio Japaratuba, sub-úmido seco, na região do médio Japaratuba e semiárido na região do alto Japaratuba. Da área total da bacia, 9,63% pertencem à região semiárida, 30,18% à porção litoral úmido e 60,17% estão localizadas no agreste. Encontram-se inseridas na área da bacia 23 cidades de pequeno e médio porte. De acordo com a Superintendência de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos SRH/SEMARH (2010), do volume total consumido na área da bacia do rio Japaratuba, 20% (1524,62 m³/h) são oriundos de águas superficiais e 80% (6098,08 m³/mês) são provenientes de água subterrânea. O potencial hídrico é baixo se comparado com o de outras bacias e tem sido bastante afetado pelos vários usos da terra.

3.2 VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS E PARÂMETROS FÍSICOS

As variáveis utilizadas no estudo foram:

- Precipitação diária medida em postos pluviográficos (Precipitação observada) com períodos longos de registros coincidentes com as datas do satélite localizados na bacia ou em suas imediações;

- Vazões diárias em uma estação fluviométrica (Vazão observada) com série histórica de poucas falhas no período de cobertura dos dados de satélite e postos pluviométricos;
- Precipitação diária obtida do algoritmo 3B42_V7 do satélite TRMM (Precipitação estimada) na região de influência da bacia;
- Parâmetros físicos da bacia contribuinte, como área, forma, comprimento e declividade para simulação de vazões pelo modelo (Vazão estimada).

Para a obtenção dos valores de precipitação na bacia do rio Japarutuba foram utilizadas três estações pluviográficas, sendo elas, CAPELA, FAZENDA CAJUEIRO E AQUIDABÃ. Os valores das estações foram comparados com os valores das precipitações obtidos pelo TRMM em 3 escalas temporais, diário, decendial e mensal. Para a comparação dos valores de vazão foram utilizados os dados fornecidos pela estação fluviométrica JAPARATUBA e comparados com os valores simulados pelo modelo chuva-vazão WIN_IPH2, foram aplicados também as mesmas três escalas temporais. Os dados de entrada do modelo utilizados foram os dados físicos da bacia incluindo a precipitação média, a evaporação, área de drenagem da bacia, tempo de concentração.

Nos próximos itens estão apresentados os dados citados de forma mais detalhada.

3.2.1 PRECIPITAÇÃO OBSERVADA

A determinação dos dados de precipitação observada a utilizar partiu da seleção inicialmente da sub-bacia contribuinte ao posto fluviométrico no qual seriam avaliadas as vazões. Nesta bacia existem 5 estações fluviométricas em operação, sendo elas a estação Fazenda Cajueiro, Fazenda Pão de açúcar, Siriri, a estação Japarutuba e a estação Rosário do Catete. A estação que abrange a maior área da bacia e encontra-se no leito do rio principal é a estação Japarutuba. Além disso, ela é a estação fluviométrica mais próxima da estação meteorológica Capela, que junto com a estação Fazenda Cajueiro apresentam as maiores séries históricas de precipitação para a região. Com isso para a simulação proposta esse trabalho foi utilizada apenas a área de abrangência da estação Fluviométrica Japarutuba (ANA, 2014). Essa área corresponde a 736,93 km² e

abrange o trecho do rio principal com comprimento de 75 km. A declividade no trecho varia de 0 a 17,5°, e a variação de cota altimétrica é de 289 m a 10 m, gerando um desnível de 279 m.

3.2.1.1 ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA CAPELA

A estação Capela localizada próximo à sede do município de Capela é operada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2014). A estação está localizada nas coordenadas 10°29'00" Sul e 37°04'0" Oeste e opera com valores de clima e chuva desde 1983. Considerando que os dados do TRMM começaram a ser disponibilizados a partir de 1998, para este trabalho foram utilizados os dados da estação no período de 1998 a 2013. Na região, trata-se da estação com maior influência sobre a área de abrangência, e apresenta também dados consistentes em uma grande escala de tempo. Os dados com informações a respeito da estação podem ser visualizados na tabela 3.1.

Tabela 3.1- dados da estação Capela.

DADOS DA ESTAÇÃO	
Código	1037078
Nome	Capela
Rio	-
Estado	Sergipe
Município	Capela
Responsável	ANA
Latitude	-10° 29' 0"
Longitude	-37° 04' 0"
Altitude	139
Área de Drenagem	-

Fonte: adaptado (ANA 2014)

3.2.1.2 ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA CAJUEIRO

A estação está localizada nas coordenadas 10°34'41" Sul e 36°54'56" Oeste e opera com valores de clima e chuva desde 1991. A estação tem maior influência sobre o rio Japaratuba Mirim afluente do Rio Japaratuba, contudo é a estação, dentro do raio de abrangência considerado, que apresenta uma série histórica compatível com o

período estudado. As características da estação Fazenda Cajueiro podem ser visualizadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 Dados da estação Japarutuba

DADOS DA ESTAÇÃO	
Código	1036063
Nome	Fazenda Cajueiro
Rio	-
Estado	Sergipe
Município	Japarutuba
Responsável	ANA
Latitude	-10° 34' 41"
Longitude	-36° 54' 56"
Altitude	10
Área de Drenagem	-

Fonte: adaptado (ANA 2014)

3.2.1.3 ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA AQUIDABÃ

A estação está localizada nas coordenadas 10°26'0" Sul e 37°03'0" Oeste e opera com valores de clima e chuva desde 2004. A estação está situada fora dos limites da bacia, contudo está dentro do raio de abrangência tolerado (10 km), apresenta uma série histórica um pouco menor que o período estudado mais ainda assim apresenta dez anos conhecendo com o período. As características da estação Aquidabã podem ser visualizadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 Dados da estação Aquidabã

DADOS DA ESTAÇÃO	
Código	31782
Nome	Aquidabã
Rio	-
Estado	Sergipe
Município	Aquidabã
Responsável	SEMARHSE
Latitude	-10° 26' 0"
Longitude	-37° 03' 0"
Altitude	218
Área de Drenagem	-

Fonte: adaptado (SEMARHSE, 2014)

3.2.2 VAZÃO OBSERVADA

A estação fluviométrica Japaratuba localiza-se próxima à sede do município de Japaratuba sendo também operada pela ANA. A estação fica instalada nas coordenadas 10°35'22 Sul e 36°57'39" Oeste e está em funcionamento desde 1973. As informações sobre a estação podem ser visualizadas na tabela 3.4, assim como se pode visualizar a estação na figura 3.2. Optou-se por escolher a estação Japaratuba devido a sua localização central na bacia, possibilitando abrangência de cobertura de um extenso trecho do rio principal, como pode-se ver na figura 3.2.

Tabela 3.4 – Dados da estação fluviométrica Japaratuba

DADOS DA ESTAÇÃO	
Código	50040000
Nome	Japaratuba
Rio	Japaratuba
Estado	Sergipe
Município	Japaratuba
Responsável	ANA
Latitude	-10° 35' 22"
Longitude	-36° 57' 39"
Altitude	4
Área de Drenagem	740

Fonte: adaptado (ANA 2014)

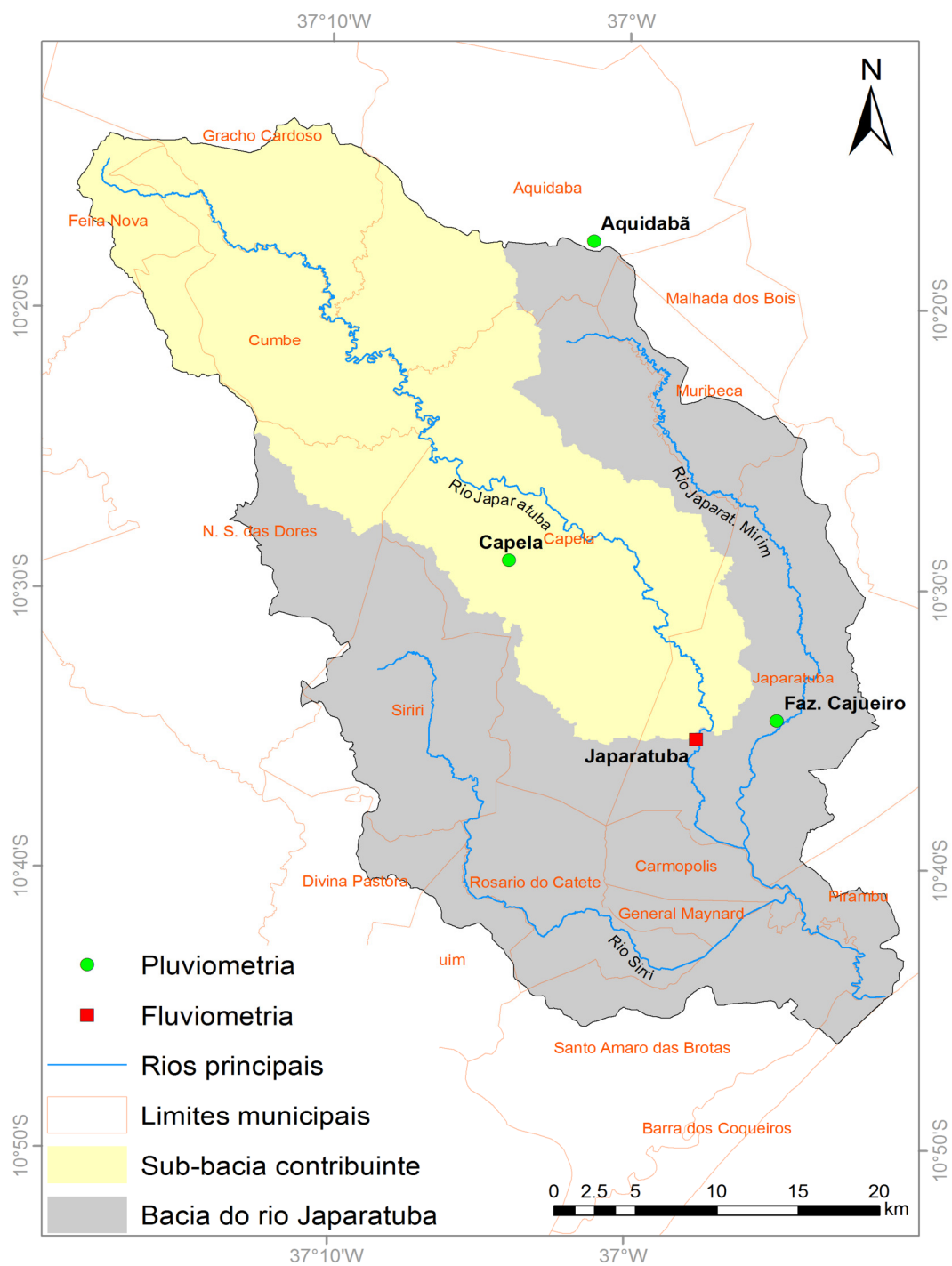


Figura 3.2- Área de contribuição da estação fluviométrica Japarutuba.

Fonte: (SERGIPE, 2014)

3.2.3 PRECIPITAÇÃO ESTIMADA

O satélite TRMM gera vários produtos, dentre eles pode-se destacar as estimativas de precipitação em várias escalas temporais. Nesse trabalho foram utilizados os dados de estimativa de precipitação diária gerados pelo satélite, o produto leva o nome de 3B42 e apresenta varias versões de atualização, a mais atualizada é a versão 7, e pode ser obtido através do site da NASA. Este trabalho utilizará a versão mais atual do algoritmo 3B42, sendo o produto denominado de 3B42_v7. A NASA disponibiliza os arquivos em padrão File Transfer Protocol (FTP) e podem ser baixados sem maiores dificuldades. Os arquivos encontram-se divididos em pastas separadas somente por datas, sendo criada uma pasta para cada dia, não há nenhum tipo de separação por região, continente ou país. Esses arquivos apresentam um compilamento de todos os pontos de estimativas presentes dentro da área de cobertura do TRMM e estão disponíveis de janeiro de 1999 até os dias atuais.

Os arquivos baixados apresentam-se na forma de arquivos binários com extensões “.bin” e “.nc” e podem ser convertidos para arquivos do tipo Sistema de informação Geografica (SIG) ou podem ser convertidos para o formato de texto para que possam ser interpretados em planilhas. Outro ponto que deve ser tratado é que os arquivos são disponibilizados com informações de precipitação e coordenadas geográficas de cada ponto para a malha de cobertura global, sem apresentar nenhum tipo de filtro por localidade. Com isso torna-se necessária a identificação dos pontos da malha que abrangem a área de estudo. Nessa pesquisa, para a fácil identificação das áreas que contribuem para a bacia em questão, foi elaborada uma grade com as coordenadas de todos os pontos que abrangem o Estado de Sergipe. Posteriormente essa grade foi sobreposta à área de abrangência da bacia, conforme se pode observar na figura 3.3.

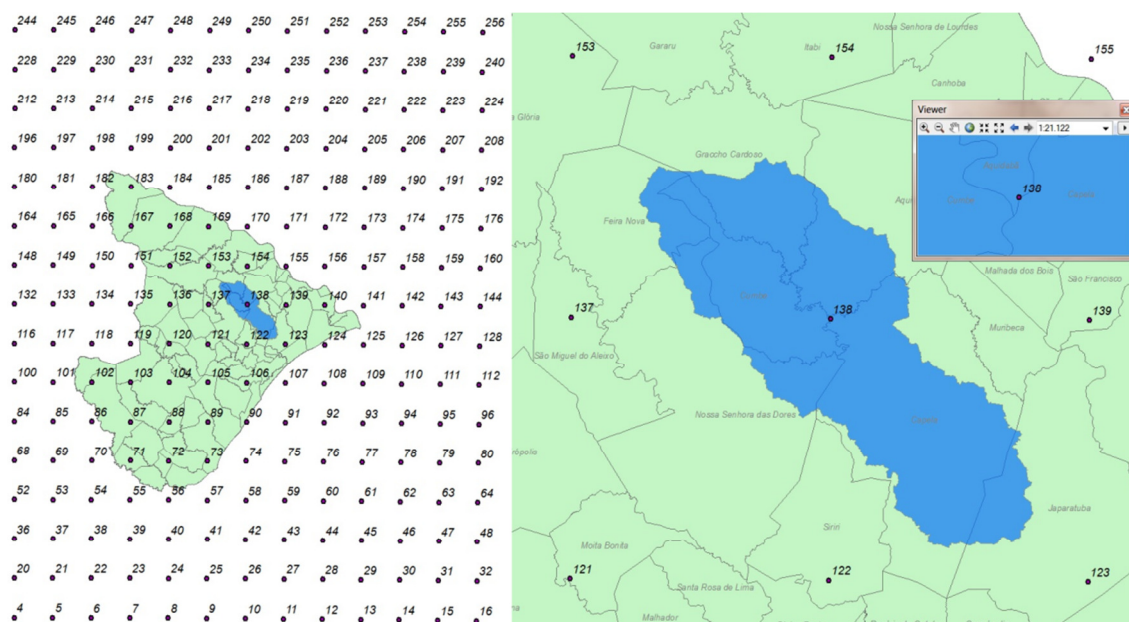


Figura 3.3- Sobreposição dos pontos do TRMM sobre a área de abrangência da bacia.

Para se extrair um arquivo com valores de dados que possam ser manipulados, foi necessária inicialmente a extração dos valores de precipitação dos arquivos em formato binário. Para isso foi utilizado o software gratuito netCDF Operators (NCO) que pode ser obtido através do link <http://www.unidata.ucar.edu/downloads/netcdf/index.jsp>. Utilizando-se da ferramenta NCKS, inclusa no NCO, pode-se extrair diretamente dos arquivos hospedados nos servidores da NASA somente as variáveis desejadas com base nos parâmetros fornecidos. No caso deste trabalho são eles:

Parâmetros:

Latitude (lat);

Longitude (lon);

Tempo (time);

Variável:

Precipitação (r);

O sistema trabalha com valores de longitude variando de $0,25^\circ$ a $359,875^\circ$ sendo o step de $0,25^\circ$, a latitude varia de $-49,875^\circ$ a $49,875^\circ$ com o step também de $0,25^\circ$, com isso o intervalo da área de abrangência está definido entre os pontos latitude $-10,875^\circ$ a $-10,125^\circ$ e longitude $322,625^\circ$ a $323,375^\circ$. Esse intervalo gera uma matriz 4x4 com 4 intervalos de longitude e 4 intervalos de latitude, totalizando 16 pontos com influencia sobre a área estudada. O parâmetro tempo também deve ser inserido na

obtenção do arquivo. O tempo é tratado como um parâmetro de valor pertencente aos inteiros com variação unitária, sendo adotado o dia 1 de janeiro de 1998 como o tempo 1. Como forma de ilustrar pode-se observar logo abaixo uma linha de comando que extrai os valores dos pontos entre a latitude -10.625 a -10.375 e longitude 322.625 a 323.375 no intervalo de tempo entre o valor 151 a 161, o que equivale ao período de 31/05/1998 a 10/06/1998, e os salva no arquivo *dailyteste_10d_trmm.nc*

```
ncks -O -v r -d time,151,161 -d lon,322.625,323.375 -d lat,-10.625,-
10.375 http://disc2.nascom.nasa.gov:80/dods/3B42_V7_dailyteste_10d_trmm.nc
```

O arquivo .nc é um arquivo binário e não pode ser lido pelos *softwares* de edição de textos e planilhas eletrônicas, contudo é possível extrair arquivos .txt derivados dos arquivos .nc. Para isso utiliza-se a ferramenta NCDUMP. O arquivo .txt extraído do arquivo .nc é gerado com vários números em linha sem indicadores específicos como pode-se notar na figura 3.4.

```
// global attributes:
: title = "Daily TRMM 3B42 V7 Rainfall (3B42 V7)" ;
: Conventions = "COARDS",
: "GrADS" ;
: dataType = "Grid" ;
: history = "Thu Jun 05 16:45:48 2014: ncks -O -v r -d time,151,161 -d lon,322.625,323.375 -d lat,-10.625,-10.375
http://disc2.nascom.nasa.gov:80/dods/3B42_V7_dailyteste_10d_trmm.nc\n" ;
: "Sun Jun 01 04:02:17 GMT-00:00 2014 : imported by GrADS Data Server 2.0" ;
: NCO = "20140605" ;
data:
lat = -10.625, -10.375 ;
lon = 322.625, 322.875, 323.125, 323.375 ;
r =
0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0,
0, 0, 0.36, 0,
0, 0, 0, 0,
0.36, 0, 0.36, 0.4354393,
0, 0.09, 2.594104, 1.416921,
31.05, 17.82, 13.95, 7.315381,
1.17, 4.77, 10.21428, 0.619903,
0, 0, 10.8, 5.31236,
0, 0, 0.648526, 3.896533,
0, 0, 2.25, 4.180218,
0, 0, 1.621315, 4.162206,
1.98, 9.179999, 14.76, 13.15027,
1.71, 2.97, 10.78174, 6.641818,
2.34, 1.17, 5.309999, 9.840929,
0, 0.54, 4.620748, 5.8448,
0, 0, 5.67, 6.705766,
0, 0.27, 7.295917, 8.590084,
0, 0.36, 0.72, 2.177197,
0, 0, 0.1062691,
0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0 ;
time = 729542, 729543, 729544, 729545, 729546, 729547, 729548, 729549,
729550, 729551, 729552 ;
}
```

Figura 3.4 Arquivo .txt gerado pelo NCDUMP.

Os dados encontram-se distribuídos da seguinte maneira: a primeira coluna representa a menor longitude do intervalo e a primeira linha a menor latitude. Como no caso estudado tem-se um intervalo de 4 latitudes e de 4 longitudes, o arquivo txt apresenta um ciclo com 16 valores que representa uma medição temporal. A partir daí os pontos voltam às latitudes e longitudes iniciais, mudando-se apenas o período de previsão dos dados. Baseando-se nessa lógica de distribuição dos valores no arquivo txt,

foi composta uma rotina em Excel, para separar os valores em tabelas e facilitar assim a manipulação dos mesmos.

A área de estudo abrange vários pontos da malha do TRMM, contudo o modelo hidrológico concentrado trabalha com valores de dados pontuais ou médios e, por isso, se faz necessária a utilização de métodos de interpolação e ponderação para o cálculo da precipitação da área de abrangência. Para valores pontuais nas mesmas coordenadas geográficas dos postos pluviográficos, aplicou-se a interpolação pelo Inverso do Quadrado da Distância (IQD) considerando os quatro pontos da grade mais próximos, por meio de programa desenvolvido em linguagem FORTRAN90. Para a ponderação das precipitações médias da bacia foi utilizado o método análogo ao método dos polígonos de Thiessen, baseando-se na influência das áreas de abrangência dos postos. Para isso foram calculadas as áreas de influência para os 16 pontos ao redor da bacia, como se fossem estações de medição distribuídas uniformemente conforme se pode observar na figura 3.5. As áreas de influência encontradas podem ser visualizadas na tabela 3.5.

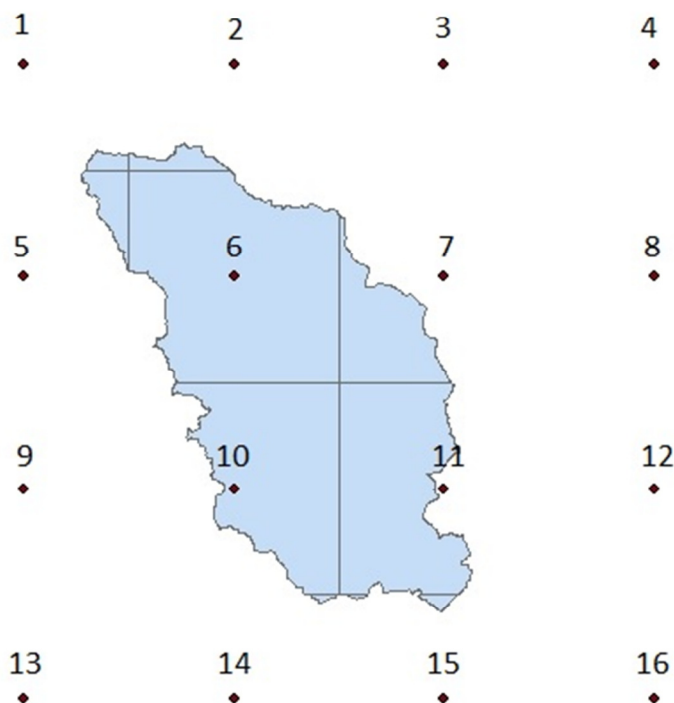


Figura 3.5 áreas de influência do método de thiessen

Tabela 3.5 valores das áreas de influências.

ID do ponto	Area (km²)	PESO (%)
1	2,29	0,14%
2	7,09	0,42%
12	11,96	0,71%
13	26,83	1,60%
8	41,15	2,46%
10	164,20	9,81%
6	386,06	23,06%
5	400,34	23,91%
9	634,32	37,89%
TOTAL	1674,24	100,00%

Para a obtenção do valor estimado de precipitação média na área de abrangência da bacia, são necessários os valores da precipitação para cada ponto e seus respectivos pesos. As precipitações de cada ponto devem ser multiplicadas pelo peso de influência de cada área e, depois, faz-se o somatório de todas as precipitações, conforme define a equação abaixo.

$$PM = \frac{\sum AiPi}{\sum Ai} \quad (Eq. 1)$$

Onde Pm é a precipitação média na bacia;

Ai é a área de influência de cada posto;

Pi é a precipitação de cada posto.

Os valores pontuais de cada malha foram extraídos dos arquivos fornecidos pela NASA e convertidos em arquivos de texto e posteriormente trabalhados em planilhas para a separação por tempo e localização.

3.3 VAZÃO ESTIMADA

O objetivo deste estudo assenta-se na avaliação da possibilidade de uso da precipitação estimada pelo TRMM em simulação hidrológica. Portanto, buscou-se aplicar um modelo simples com poucos parâmetros e que pudesse ser calibrado de forma automática ou semi-automática. Assim, as séries históricas de vazões estimadas foram geradas a partir das precipitações observada (postos pluviográficos) e estimada (TRMM) por meio da calibração do modelo chuva-vazão IPH2 para séries contínuas (Tucci e Campana, 1993) em sua versão WIN_IPH2 (Bravo et al., 2006). Assim foram geradas duas séries de vazões estimadas: uma para precipitação observada e outra para precipitação estimada.

O modelo IPH II é composto por três algoritmos e sete parâmetros. Os algoritmos são:

1. Perdas através da evaporação e interceptação;
2. Separação de escoamentos;
3. Propagação dos escoamentos superficial e subterrâneo;

Os sete parâmetros são:

- Io: capacidade de infiltração máxima do solo ($\text{mm}/\Delta t$);
- Ib: capacidade de infiltração mínima do solo ($\text{mm}/\Delta t$);
- h: parâmetro de decaimento da infiltração no solo (adimensional);
- Ks: parâmetro de propagação do escoamento superficial(Δt);
- Ksub: parâmetro de propagação do escoamento subterrâneo(Δt);
- Rmax: capacidade máxima do reservatório de interceptação e depressão(mm);
- Alfa – parâmetro adimensional para simulação de séries contínuas.

Os algoritmos do modelo são de domínio publico e encontram-se muito bem documentado pelos proprios desenvolvedores do modelo assim como por outros estudiosos da área e podem ser encontrados em (TUCCI (1991), TUCCI (1998) e

BRAVO et al. (2006). A seguir será apresentado somente um resumo sobre a teoria de cada parcela do algoritmo.

Algoritmos de perdas através da evaporação e interceptação:

Este algoritmo tem a função de quantificar as perdas do ponto de vista hidrológico, sejam elas por evaporação ou por interceptação da cobertura vegetal. Para obter esses valores o modelo realiza algumas considerações. Quando a precipitação for maior que a evaporação ($P > E$), a evaporação será subtraída da precipitação e o excedente da chuva ($P_t = P - E$) passa a atender a interceptação. O parâmetro R_{max} representa a capacidade de armazenamento máximo em um reservatório de perdas (vegetação e depressões). Se a precipitação excedente for suficiente para “transbordar” o R_{max} , o valor excedente será utilizado no algoritmo de separação do escoamento (infiltração) para o cálculo dos valores superficial e percolado nas áreas permeáveis e poderá gerar o escoamento superficial. Se a chuva excedente P_t não for suficiente para satisfazer R_{max} , então não haverá água excedente para o algoritmo de separação, tampouco para um escoamento superficial.

Separação de Escoamento:

Este algoritmo objetiva determinar qual volume de água resultante do algoritmo de perdas irá propagar pela superfície e qual irá pelo subterrâneo. Os valores excedentes, depois de descontadas as perdas por evaporação e interceptação, poderão gerar escoamento na superfície, dependendo das condições do uso da terra (impermeabilização) e de umidade do solo. A separação do escoamento no modelo é realizada utilizando-se da equação de HORTON para a determinação da taxa de infiltração. Os parâmetros envolvidos são I_0 , I_b e h .

Propagação do escoamento:

A propagação do escoamento superficial é feita com base no Método de Clark, sendo executada em duas etapas: A primeira consiste em dividir a bacia em subáreas e após procede-se ao efeito de translação destas subáreas para que todas contribuam na vazão; a segunda etapa consiste em representar o armazenamento através de um reservatório linear simples. O método utiliza o parâmetro tempo de concentração

(Tc) e o histograma tempo-área (HTA) para representar o efeito de translação e um reservatório linear simples.

3.3.1 CALIBRAÇÃO DO MODELO

Neste trabalho foi utilizado o método de calibração automática monobjetivo que já acompanha o modelo do Win_iph2. Para o modelo a calibração deve ajustar sete parâmetros. O algoritmo possui 7 funções objetivos que podem ser utilizadas para a obtenção de valores otimizados, nesse trabalho foi escolhida como função objetivo o parâmetro de Nash Sutcliffe, esse parâmetro é largamente utilizado em testes de eficiência para vários tipos de modelos, sendo capaz de representar com maior fidelidade as variações de períodos de seca e cheias e os picos de vazão (MCCUEN et al 2006), os outros parâmetros tinham uma certa tendência a amortecer a curva de vazão, transformando os extremos em vazão média.

A calibração foi realizada de quatro formas para cada escala temporal totalizando 12 procedimentos de calibração. As quatro etapas foram realizadas utilizando como dados de entrada: precipitações pontuais (estação Capela e interpolação do TRMM nas mesmas coordenadas geográficas da estação) e precipitações médias (polígonos de Thiessen para os três postos e média ponderada da grade do TRMM), contrapondo com as vazões registradas na estação Japarutuba. A avaliação da qualidade da calibração foi realizada por meio da avaliação dos coeficientes de Nash-Sutcliffe, coeficiente de correlação e erro médio de volume, que serão detalhados mais adiante no texto.

3.4 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS

A avaliação da *performance* das estimativas dos dados provenientes do TRMM tanto na comparação direta com os dados de precipitação medidos em campo quanto no processo de transformação chuva-vazão versus dados de vazão observada, utilizou-se dos seguintes coeficientes já consagrados na literatura: o índice de correlação de Pearson, o coeficiente de Nash-Sutcliffe e o erro médio de volume. (MORIASI et al. 2007)

A eficiência calculada pelo coeficiente de Nash-Sutcliffe é um valor estatístico normalizado que determina magnitude relativa da variância residual ("ruído") em comparação com a variância dos dados medidos ("observados") (Nash e Sutcliffe ,1970). O coeficiente indica quão bem os valores observados se apresentam em função dos dados simulados os seus valores variam de $-\infty$ a 1. Sendo 1 o valor perfeito onde os dados simulados representam por completo os dados observados, valores acima de 0,50 são tolerados como aceitáveis para o coeficiente de Nash Sutcliffe. O valor de Nash-Sutcliffe é calculado conforme equação abaixo:

$$E=1-\frac{\sum_{i=1}^n (EST_i-OBS_i)^2}{\sum_{i=1}^n (OBS_i-\overline{OBS})^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde,

EST- valor estimado/simulado;

OBS- Valor Observado.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) Descreve o grau de colinearidade entre os dados medidos e simulados. O coeficiente varia entre -1 e 1. Se $r = 0$, não existe uma relação linear. Se $r = 1$ ou -1 , existe uma relação linear positiva ou negativa perfeita. Valores de correlação de Pearson são aceitos como satisfatórios quando $r > 0,7$. A equação para calcular o coeficiente de Pearson está demonstrada abaixo:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Xi-\bar{X})(Yi-\bar{Y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (Xi-\bar{X})^2][\sum_{i=1}^n (Yi-\bar{Y})^2]}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde,

X- valor observado;

Y – valor estimado/simulado.

O erro relativo de volume percentual (EV%) demonstra o quanto o acumulado dos valores simulados se distanciou do acumulado de valores observados, sua equação está discriminada abaixo (Eq.4). o resultado desta equação pode ser positivo ou negativo. Resultados positivos demonstram que os acumulados simulados estão

superiores aos acumulados observados, e resultados negativos representam que os valores observados são superiores aos simulados. Para esse coeficiente são aceitos valores de -25% a +25%.

$$EV\% = \frac{EST - OBS}{OBS} \times 100 \quad (Eq. 4)$$

Onde,

EST- valor estimado/simulado;

OBS- Valor Observado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

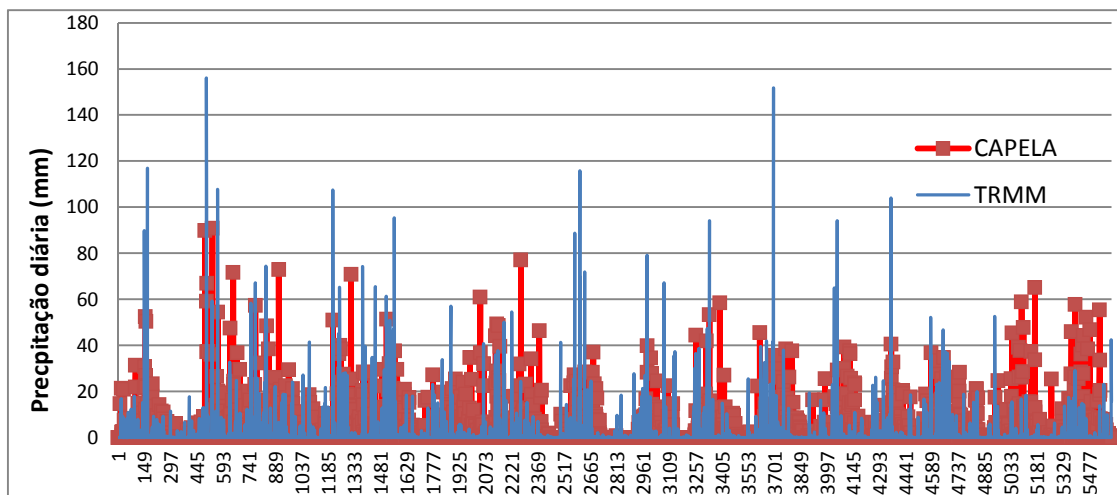
4.1 ANÁLISE COMPARATIVA PARA PRECIPITAÇÃO ENTRE AS ESTAÇÕES E O TRMM: PRECIPITAÇÃO PONTUAL.

Para a realização das análises estatísticas de correlação entre os valores pontuais do satélite TRMM interpolados e as estações em solo, foram utilizadas as 3 estações pluviométricas que abrangem a região da bacia do Japarutuba: Capela, Fazenda Cajueiro (ANA) e Aquidabã (SEMARH/SE). Foram analisados os índices de correlação de Pearson (r), Nash Sutcliffe (NS) e erro médio de volume (EV) nas três escalas temporais. Inicialmente foram coletados os dados das estações e removidos todos os registros em que ocorreram falhas na obtenção dos valores e a partir daí foi construída uma série histórica sem falhas. O sistema gerado pelo TRMM não apresenta vazios em sua série, por isso, para que exista coerência entre os valores, também foram removidos da série do TRMM as datas equivalentes às falhas das estações. Para as estações Capela e fazenda Cajueiro foi utilizado o período de 1998 a 2013 e para a estação Aquidabã foi utilizado o período de 2004 a 2013.

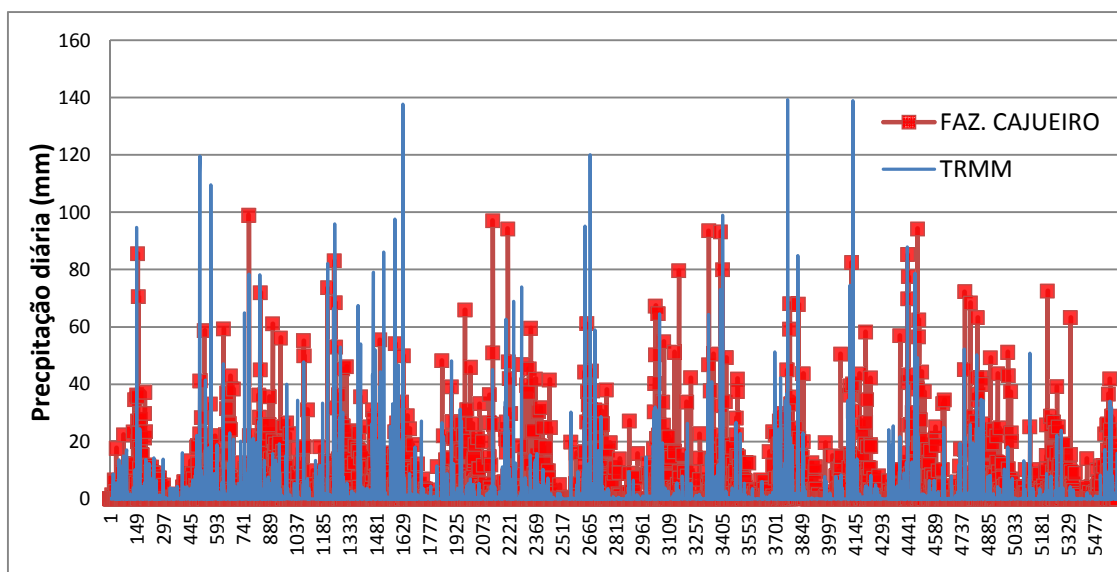
As primeiras análises realizadas foram em escala diária. Nessa situação os indicadores estatísticos demonstram uma correlação muito baixa tanto para as estações da ANA quanto para a estação da SEMARH. Na figura 4.1 pode-se observar através dos gráficos a comparação entre os valores diários medidos pelas estações e pelo TRMM. Os três índices confirmam a análise visual e apresentam valores insatisfatórios de correlação como se pode observar na Tabela 4.1. O posto Capela é o que apresenta os piores valores de correlação, estando bastante próximo dos valores da estação Fazenda Cajueiro. O posto que apresentou os melhores resultados foi o posto Aquidabã, principalmente no coeficiente de correlação, os erros de volume apresentam valores subestimados próximos a 50% para as três estações.

Tabela 4.1 – Valores dos Coeficientes para a comparação Diária.

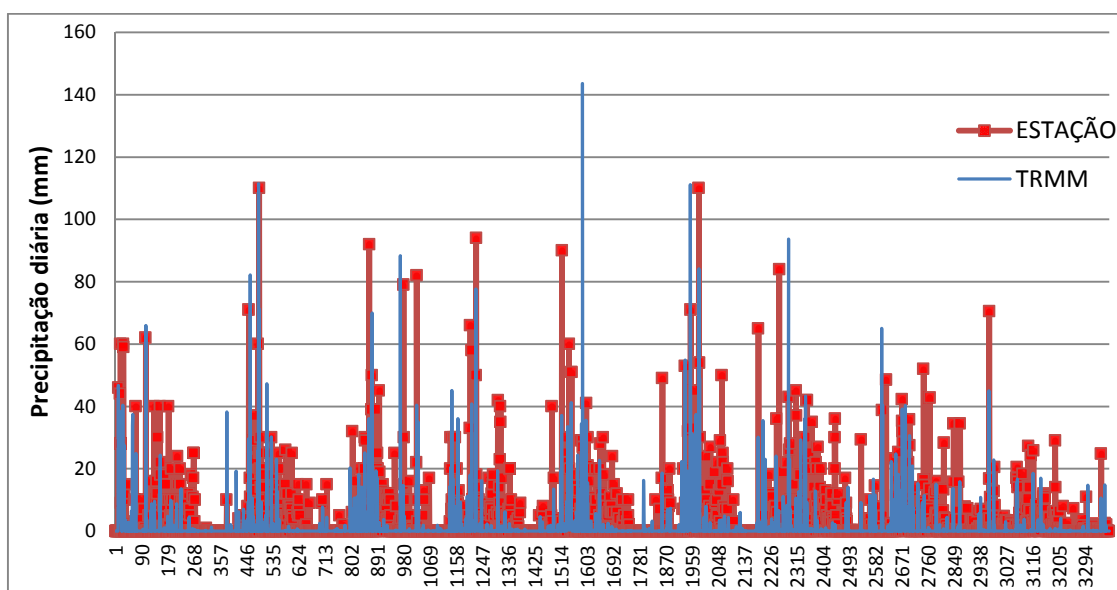
VALORES DIÁRIOS PONTUAIS									
	CAPELA			FAZ. CAJUEIRO			AQUIDABÃ		
	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)
TOTAL	0,09	-1,05	-55,57	0,12	-0,63	-48,64	0,32	-0,18	-50,29



a) Capela versus TRMM



b) Fazendo Cajueiro versus TRMM



c) Aquidabã versus TRMM

Figura 4.1 – Comparação de precipitação diária para dados pontuais.

Através da análise visual dos gráficos pode-se perceber também que o sistema TRMM subestima as chuvas de média e baixa intensidade e superestima as chuvas de alta intensidade, uma vez que os valores do TRMM atingem valores de pico bem superiores aos valores das estações, enquanto permanecem com valor médio sempre abaixo dos valores medidos em campo.

Os erros médios de volume anuais apresentam valores praticamente constantes entre as 3 estações, os valores não variam muito entre os anos observados, contudo há de se destacar que, nos anos de 2012 e 2013, o satélite TRMM registrou um volume de chuva muito abaixo do registrado pelas estações. Em 2012, por exemplo, os valores acumulados das estações apresentam uma média 900 mm e os valores acumulados do TRMM somente 200 mm, o que indica uma possível falha no método de análise do satélite TRMM. Segundo Leivas et al (2014), a precipitação na Região Nordeste não é bem distribuída durante o ano e sofre grande influência da zona de convergência intertropical e dos fenômenos relacionados ao aquecimento e resfriamento das águas do oceano atlântico, La nina e El nino. El nino provoca estiagem na Região Nordeste, enquanto La nina provoca aumento no volume de precipitação. Ainda segundo Leivas et al (2014), o ano de 2011 foi um ano de transição entre La nina e El nino, sendo 2012 um ano com a presença de El nino e que apresentou a maior seca dos últimos trinta anos para o Nordeste. Essas informações poderiam indicar que os volumes muito baixos registrados pelo TRMM estariam corretos, contudo não apenas a estação Capela registrou um volume muito mais alto de precipitação como também as estações Aquidabã e Fazenda Cajueiro. Além disto, a estação fluviométrica Japarutuba registrou nos meses de setembro e outubro de 2012 picos de vazão enquanto o TRMM não registrava valores de precipitação. Essas situações anômalas de grandes períodos de secas, associadas a eventos pontuais de chuvas de intensidade elevada podem demonstrar certa fragilidade do algoritmo do satélite em “prever” a chuva.

Quando se comparou os valores das estações com os valores do TRMM com a defasagem de um dia nos valores do TRMM, obteve-se uma melhora considerável nos índices de correlação. Os acréscimos nos valores encontrados de Nash e o coeficiente de Pearson foram respectivamente: Estação Capela (de -1,05 para -0,64 de 0,09 para 0,28), estação Fazenda Cajueiro (-0,63 a -0,32 e 0,11 a 0,29) , estação Aquidabã (-0,18 a -0,09 e 0,32 a 0,38). Resultados semelhantes foram encontrados na bacia do São Francisco por Collischon (2006) e na bacia do Paraguai por Collischon et

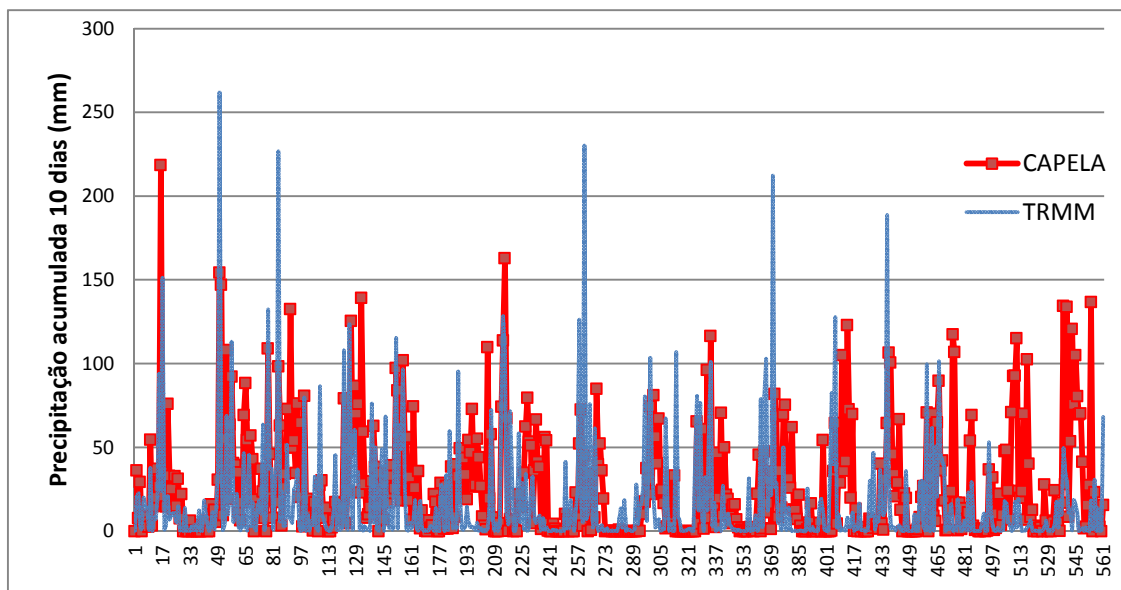
al (2007). Apesar de ainda não ser completamente explicado, esse fato pode ser provocado pela diferença de fuso horário entre a geração do produto TRMM e a leitura da estação em solo. Os dados do TRMM são disponibilizados no fuso 00h00min UTC, e as leituras são feitas por padrão às sete horas da manhã no fuso -03h00min UTC.

Os valores de correlação para o intervalo de tempo diário, apesar de não apresentarem valores satisfatórios para a totalidade da série estudada, apresentam certa coerência entre os anos e apresentam valores semelhantes ao longo dos anos conforme pode-se observar na tabela 4.2.

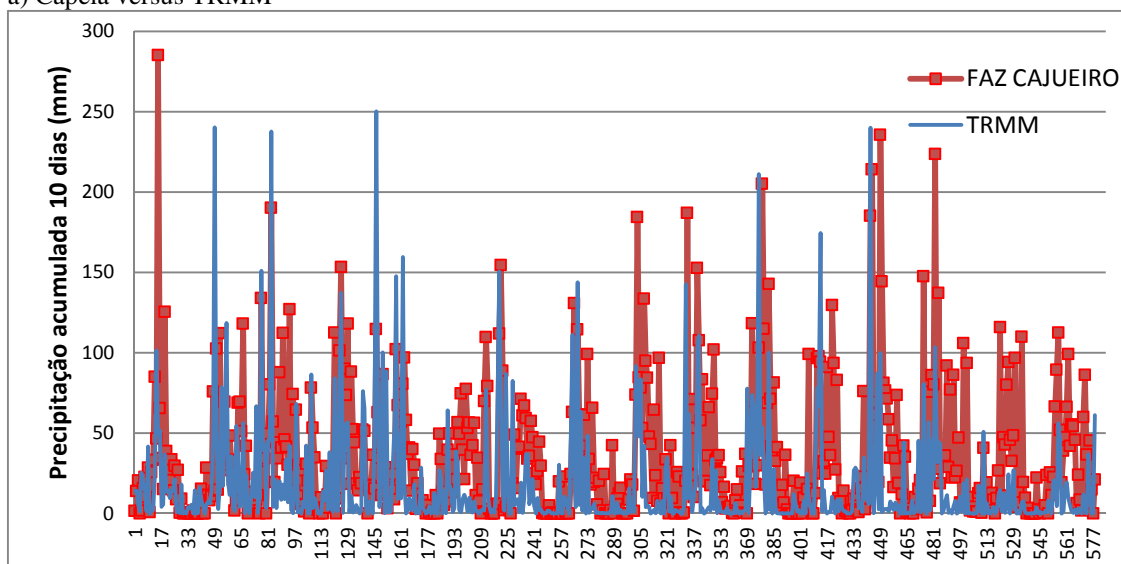
Tabela 4.2 – Valores dos coeficientes separados por ano.

	CAPELA			FAZ. CAJUEIRO			AQUIDABÃ		
	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)
1998	0,04	-1,76	-33,05	0,11	-0,38	-48,10			
1999	0,14	-0,92	-33,74	0,02	-2,10	-10,39			
2000	0,17	-0,89	-20,38	0,18	-0,52	-32,52			
2001	0,01	-1,44	-43,29	0,02	-0,99	-39,42			
2002	0,05	-2,06	-33,36	0,09	-2,75	-3,47			
2003	0,02	-0,78	-55,57	0,24	-0,07	-67,16			
2004	0,21	-0,30	-36,86	0,19	-0,32	-38,12	0,52	0,18	-47,41
2005	0,05	-4,05	34,13	-0,02	-1,45	-42,11	0,37	-0,25	-45,39
2006	0,00	-2,37	0,01	0,09	-0,25	-62,42	0,30	-0,12	-52,35
2007	0,30	-0,60	-26,00	0,26	-0,23	-57,56	0,32	-0,05	-55,48
2008	0,06	-2,41	-9,31	0,01	-1,38	-43,43	0,22	-0,66	-42,63
2009	0,12	-1,07	-42,22	0,36	-0,41	-54,53	0,50	0,10	-46,19
2010	0,21	-1,26	-32,39	0,16	-0,30	-60,84	0,08	-0,55	-54,77
2011	0,05	-0,97	-35,12	0,14	-0,23	-64,61	0,24	-0,31	-46,69
2012	-0,02	-0,27	-79,49	0,01	-0,31	-78,25	0,11	-0,28	-73,23
2013	0,13	-0,17	-69,21	0,09	-0,28	-70,77	-0,01	-0,75	-9,18
TOTAL	0,09	-1,05	-55,57	0,12	-0,63	-48,64	0,32	-0,18	-50,29

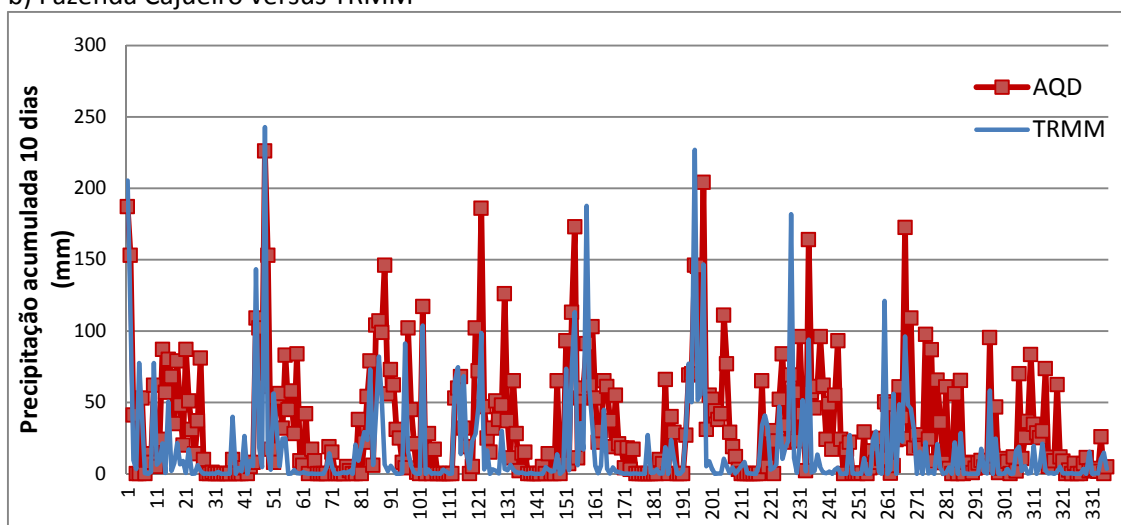
Foi realizada também a comparação para valores acumulados decendial. Os valores acumulados corrigem algumas falhas como, por exemplo, possíveis erros de fuso horário de leitura e erros provocados por chuvas muito localizadas. Como já esperado, os valores apresentam menores taxas de erro entre si, mas ainda não são correlações satisfatórias. Pode-se observar nos gráficos da figura 4.2 que há uma melhora no ajuste do gráfico em relação aos gerados com dados diários e na tabela 4.3 encontram-se os valores dos coeficientes estatísticos. Na escala decendial, a estação Aquidabã continua com os melhores índices, seguida pela estação Fazenda Cajueiro e, por último, a estação Capela. Os erros de volume continuam os mesmos por já tratarem os dados de forma acumulada.



a) Capela versus TRMM



b) Fazenda Cajueiro versus TRMM



c) Aquidabã Versus TRMM

Figura 4.2 – Comparação dos valores pontuais acumulados 10 dias.

Tabela 4.3 – Valores pontuais acumulados 10 dias.

VALORES ACUMULADOS DEZ DIAS PONTUAIS									
	CAPELA			FAZ. CAJUEIRO			AQUIDABÃ		
	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)
TOTAL	0,37	-0,33	-55,57	0,51	-0,02	-48,64	0,65	0,22	-50,29

A última escala de tempo estudada foi a escala mensal, na qual pode-se observar, pelos gráficos da figura 4.3, certa tendência do TRMM em representar bem os valores de precipitação nos primeiros meses do ano e em subestimar os valores do meio para o final do ano em quase todos os períodos estudados. Em relação à escala decendial, a escala mensal apresenta melhora nos valores estatísticos, contudo ainda não são valores satisfatórios, como pode ser visto na tabela 4.4.

De maneira geral os valores dos coeficientes encontrados não foram satisfatórios em nenhuma escala temporal. Pode-se observar que para todas as estações houve melhora na correlação quando tratava-se com dados acumulados em relação a dados diários. A estação que apresentou melhor ajuste em todas as situações foi a estação Aquidabã apesar de serem considerados satisfatórios.

Com relação ao erro de volume foram encontrados valores subestimados pelo TRMM da ordem de 50% para as 3 estações pesquisadas, os erros de volume permanecem idênticos entre as escalas temporais pois esse coeficiente já trata com valores acumulados. Já para os valores de Nash e Pearson foram encontrados valores muito baixos na escala diária não ultrapassando 0,3 e -0,18 para Correlação de Pearson e Nash respectivamente. Na escala decendial os valores dos coeficientes foram maiores porem não satisfatórios, obtendo como melhor resultado a estação Aquidabã Nash 0,2 e Pearson 0,6. Para a escala mensal os valores continuaram aumentando mesmo assim não foram atingidos valores satisfatórios.

Tabela 4.4 – Valores pontuais acumulados 30 dias.

VALORES ACUMULADOS 30 DIAS PONTUAIS									
	CAPELA			FAZ. CAJUEIRO			AQUIDABÃ		
	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)
TOTAL	0,47	-0,04	-55,57	0,62	0,05	-48,64	0,71	0,16	-50,29

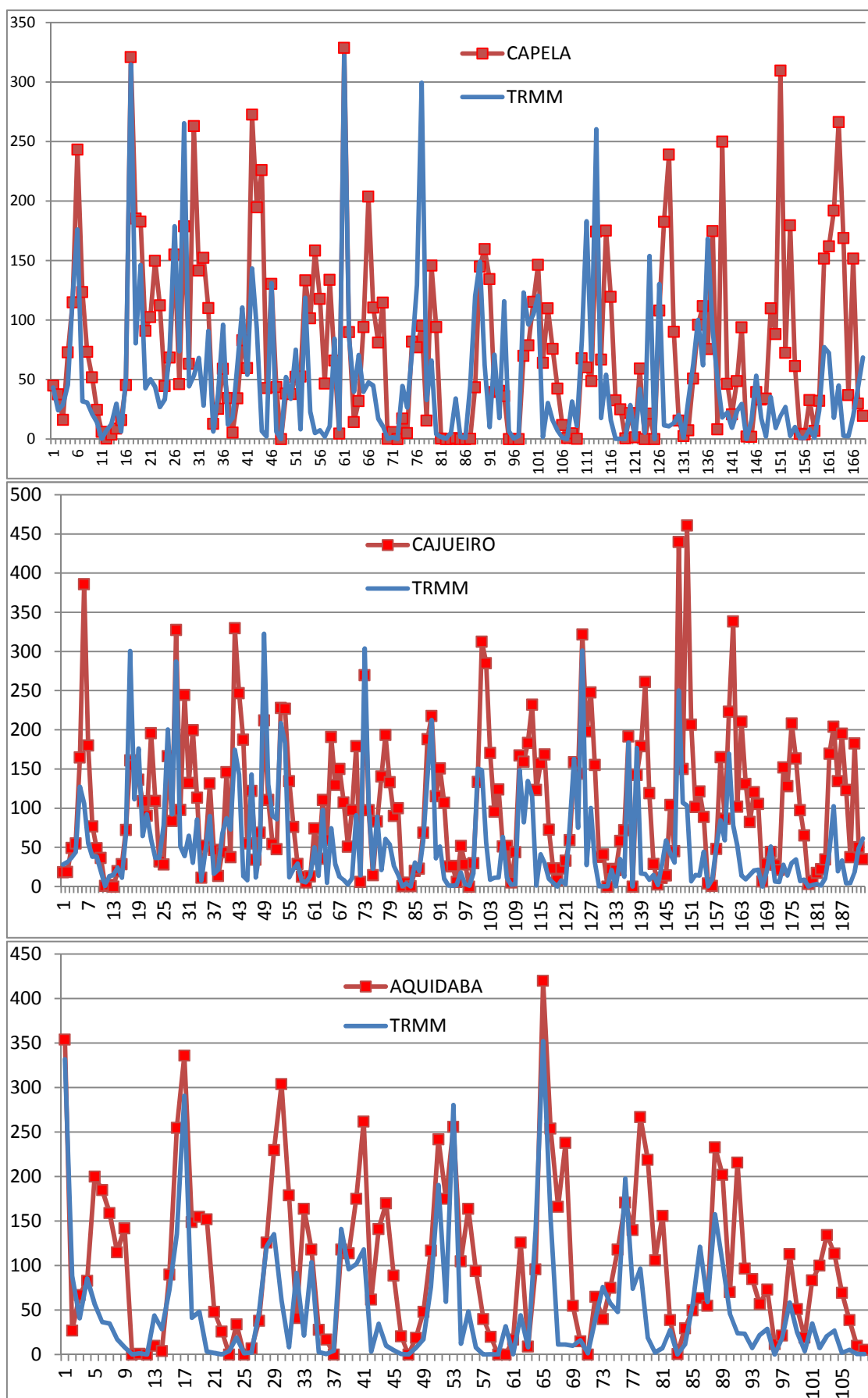


Figura 4.3 – Comparação entre valores pontuais acumulados 30 dias.

Com intuito de verificar também se os dados do satélite representam bem a sazonalidade das chuvas na região, foram plotados gráficos com as médias acumuladas mensais das três estações versus o TRMM. Esses gráficos podem ser vistos na figura 4.4. As séries para obtenção das médias mensais foram compostas apenas por anos em que não houve falha no registro da precipitação por parte da estação meteorológica, sendo utilizados 12 anos para as estações Capela e Fazenda Cajueiro e 8 anos para a estação Aquidabã.

A partir da análise visual dos gráficos de cada estação versus o TRMM, apresentados na figura 4.4, pode-se confirmar a hipótese já observada na análise dos dados em escala mensal de que o produto do TRMM representa bem a época de pouca chuva, de janeiro a abril, e subestima de forma considerável os meses de maiores precipitações, de maio a setembro. O erro de médio de volume obtido para a estação Capela foi de 76% no mês de julho, com diferença absoluta de 134 mm. Os valores do TRMM voltam a se aproximar dos valores medidos pela estação nos meses finais, de outubro a dezembro. Os valores médios acumulados mensais para cada estação podem ser observados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Precipitação média mensal

	CAPELA		FAZ. CAJUEIRO		AQUIDABÃ	
	TRMM(mm)	ESTAÇÃO(mm)	TRMM(mm)	ESTAÇÃO(mm)	TRMM(mm)	ESTAÇÃO(mm)
Janeiro	54,20	48,98	48,83	50,83	67,51	69,04
Fevereiro	61,61	51,28	63,16	68,20	73,61	64,23
Março	60,25	45,34	54,68	71,01	75,76	93,89
Abril	92,41	78,33	100,86	138,43	94,73	152,31
Maio	138,99	146,57	129,93	216,06	145,56	224,23
Junho	50,56	139,92	48,39	178,37	29,52	139,31
Julho	41,57	172,35	51,55	176,73	31,23	164,03
Agosto	35,92	87,71	52,37	123,97	66,18	111,74
Setembro	21,80	70,49	26,74	72,38	12,17	91,06
Outubro	23,88	50,78	25,90	70,96	21,72	40,01
Novembro	20,45	27,78	17,66	47,61	5,34	15,97
Dezembro	23,25	14,43	21,52	27,28	8,51	12,49

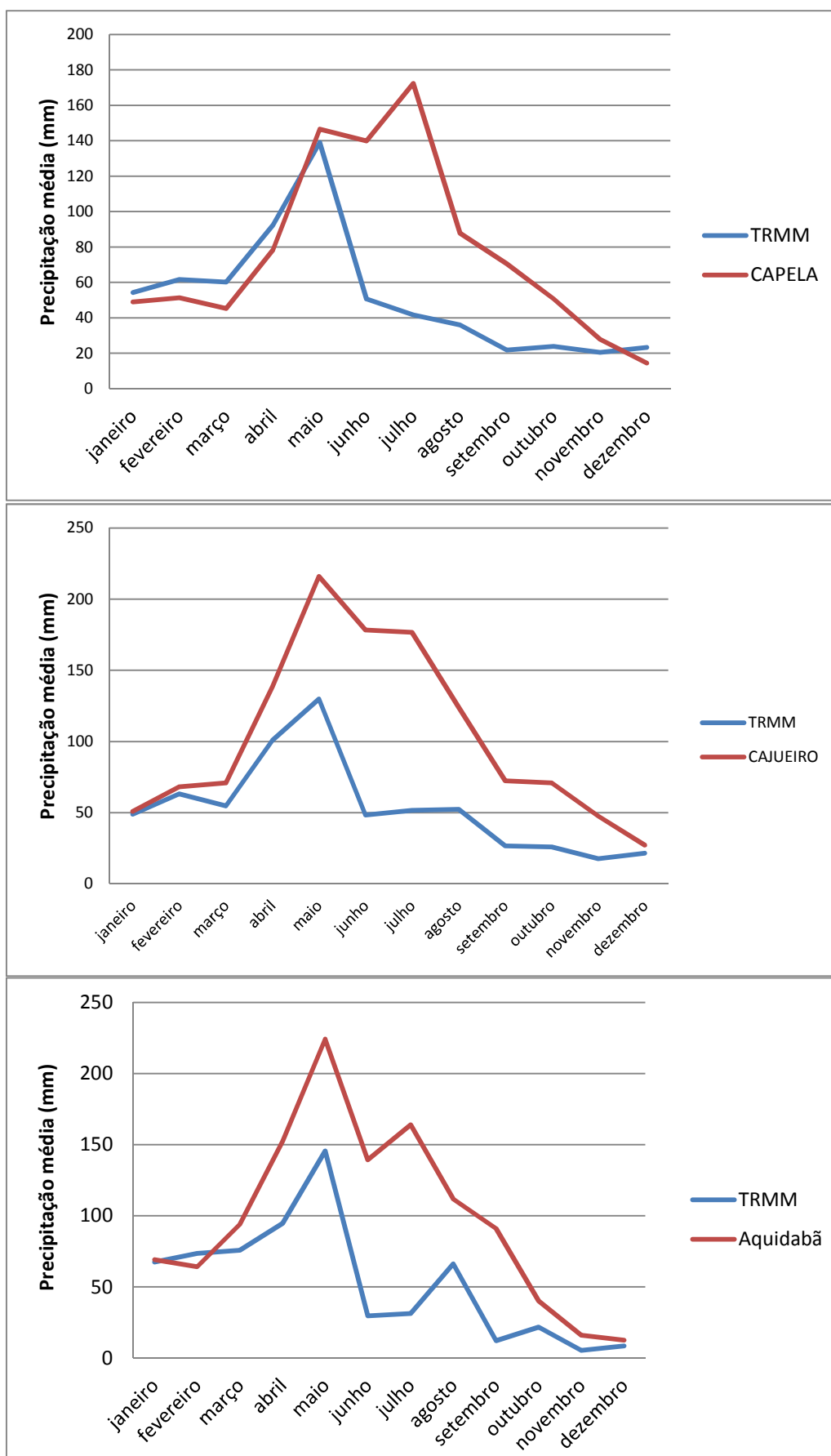


Figura 4.4 média histórica mensal para cada estação.

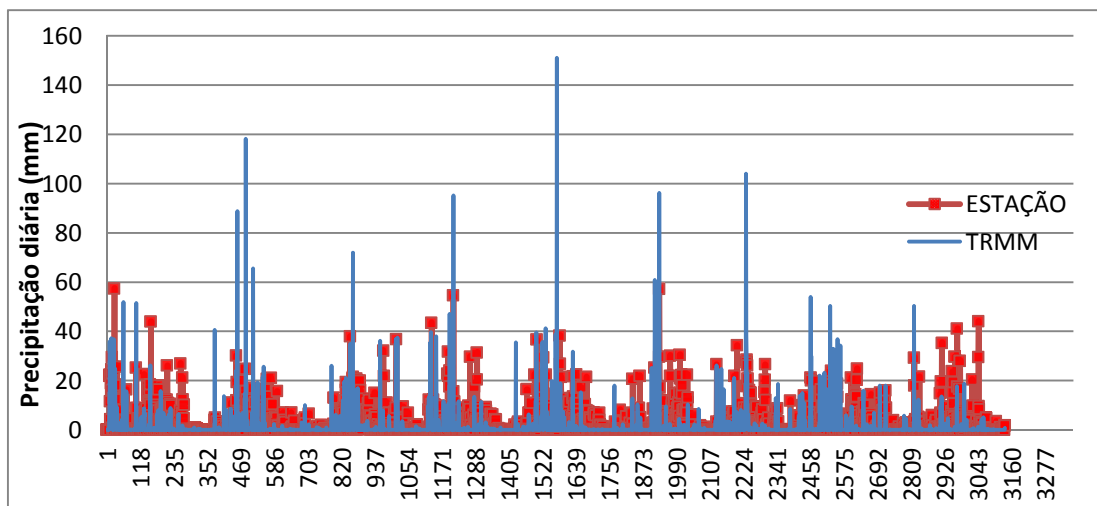
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA PARA PRECIPITAÇÃO ENTRE AS ESTAÇÕES E O TRMM: PRECIPITAÇÃO MÉDIA.

Com o intuito de minimizar possíveis erros ocasionados pela característica pontual da coleta de dados, como, por exemplo, eventos isolados na área de captação das estações, má calibração da estação ou até mesmo erros de leitura, foi realizada também a análise com a precipitação média sobre a área de abrangência da bacia, conforme já descrito no item Materiais e Métodos. Foram removidas as falhas existentes nos três postos e, devido à série do posto Aquidabã só iniciar no ano de 2004, as outras séries também foram consideradas a partir do mesmo ano. Os dados obtidos são apresentados na figura 4.5 e na tabela 4.6. Os valores encontrados apresentam índices melhores em relação às estações Capela e Fazenda Cajueiro e praticamente idênticos aos valores da estação Aquidabã. Nota-se que o erro de volume diminui, atingindo o menor valor de todas as comparações. Os valores de correlação também melhoraram e só não são maiores que o acumulado de 30 dias da estação Aquidabã, em todas as outras situações a comparação com chuva média se mostra superior às comparações pontuais.

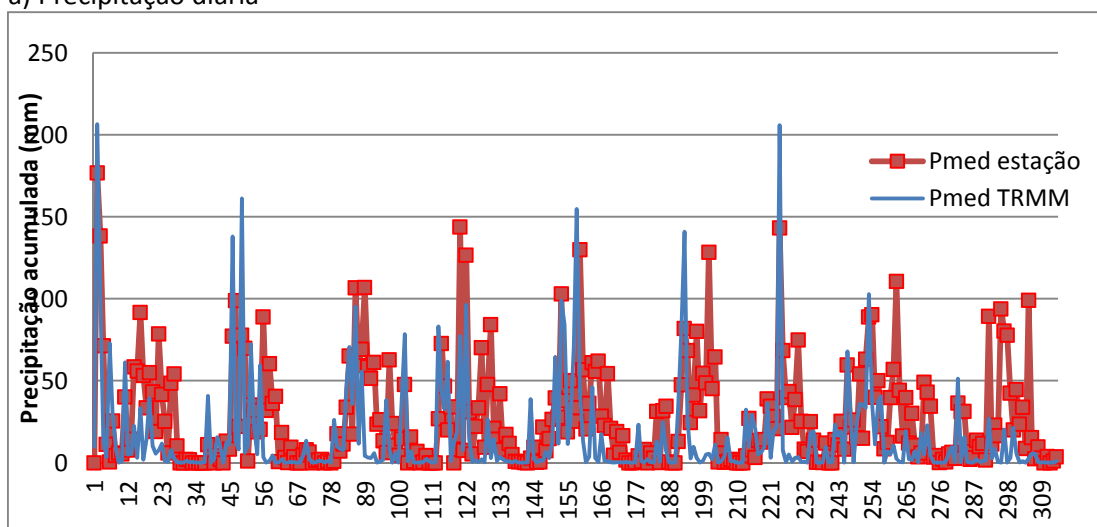
Esses resultados demonstram que, mesmo com a correlação baixa nas comparações pontuais, os valores apresentam melhoras quando calculados para a cobertura de grandes áreas. Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA (2012).

Tabela 4.6 – Valores dos coeficientes para as 3 escalas temporais.

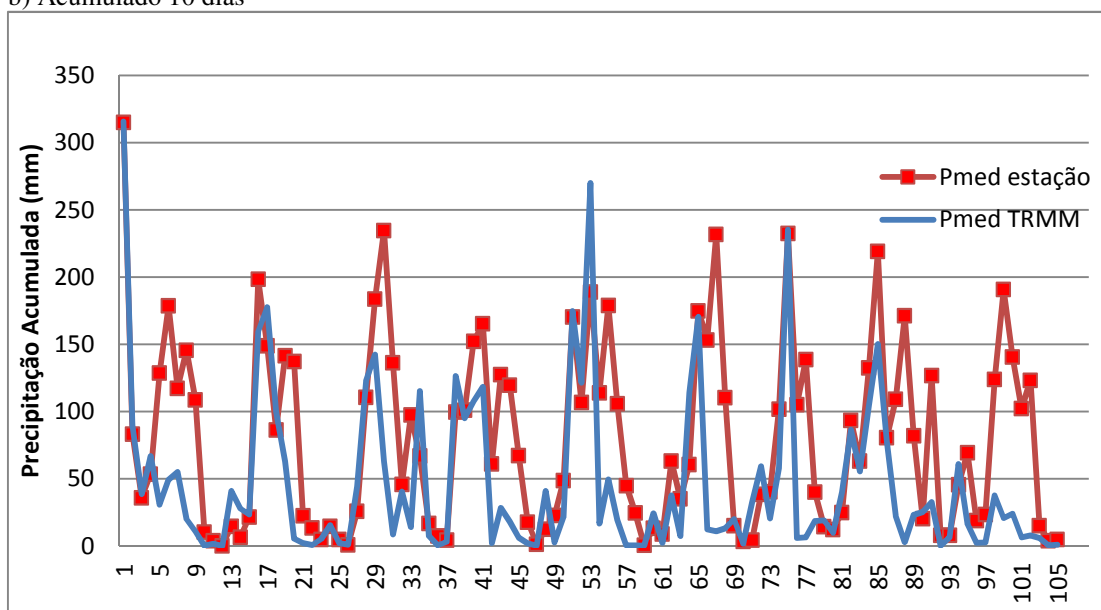
VALORES DIÁRIOS	Pméd x TRMM méd		
	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)
	0,27	-1,00	-43,54
ACUMULADO 10 DIAS	Pméd x TRMM méd		
	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)
	0,54	0,03	-43,54
ACUMULADO 30 DIAS	Pméd x TRMM méd		
	Coeficiente de correlação	Nash Sutcliffe	Erro médio de volume(%)
	0,63	0,11	-43,54



a) Precipitação diária



b) Acumulado 10 dias



c) Acumulado 30 dias

Figura 4.5 – Comparativo de precipitação média em 3 escalas temporais.

Ao contrário do que é relatado por Colisschonn (2007) e Nóbrega (2008), respectivamente para as bacias do Rio Paraguai e no Rio Amazonas, que encontraram valores superestimados pelo TRMM em relação às medidas em solo, este estudo encontrou a subestimação dos valores de precipitação por parte do TRMM. Vale ressaltar que as regiões onde foram encontradas superestimações por parte do TRMM apresentam uma formação de chuvas diferente da encontrada na região do Japaratuba.

Observa-se que a forma como a subestimação dos valores ocorre, de maneira semelhante entre as três estações e sempre constante nos mesmos meses do ano, sugere que o problema não esteja na leitura e obtenção dos dados das estações, pois tais erros levariam a variações aleatórias entre os anos. Observa-se também que a qualidade das correlações estatísticas varia de acordo com o regime de chuvas, sendo que o período onde ocorrem os maiores desvios é caracterizado por chuvas frontais de longa duração e baixa a média intensidade, enquanto que, nos períodos mais secos, ocorrem chuvas convectivas, com maior intensidade e curta duração.

Com isso é razoável afirmar que o problema da baixa correlação esteja ocorrendo por falhas nos dados gerados pelo algoritmo do satélite, que não consegue manter a mesma sensibilidade para o período em que ocorrem as chuvas frontais, sendo necessária uma calibração de parâmetros específicos para a utilização dos valores obtidos pelo TRMM na região da bacia do Japaratuba. Essa calibração parece ser possível justamente pelo fato de ocorrer certa constância nos desvios obtidos.

Deve-se destacar que, segundo estudo realizado pelo SRH/SEMARH na elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe, as estações da bacia do Japaratuba estão correlacionadas de maneira satisfatória (SERGIPE, 2010). Os dados observados nesse trabalho confirmam essa afirmação, pois se pode perceber que, nas três escalas observadas, os índices estatísticos e as análises visuais pouco variam de uma estação para outra, indicando uma coerência entre os dados das estações estudadas. Os dados das três estações apresentam uma boa representação da sazonalidade da região, registrando os maiores volumes nos meses de maio a agosto.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA PARA VAZÃO ENTRE AS ESTAÇÕES E O TRMM: PRECIPITAÇÃO PONTUAL.

Os valores dos parâmetros do Win_iph2 foram calibrados em cada escala temporal para 4 situações: chuva pontual na estação Capela, chuva média dos postos em terra, chuva pontual interpolada da malha do TRMM e chuva média obtida pelo TRMM. Os valores dos parâmetros obtidos para as precipitações pontuais estão apresentados na tabela 4.7, esses valores foram obtidos com base no algoritmo de calibração automática presente no modelo Win_iph2. Para a simulação foi utilizado o período entre 10 de fevereiro de 2002 a 31 de janeiro de 2007 totalizando 1087 registros diários, esse intervalo foi escolhido por representar o maior período sem falhas entre as estações utilizadas.

Tabela 4.7 – Parâmetros para simulação valores pontuais.

PARÂMETROS	Diário		Decendial		Mensal	
	Pontual		Pontual		Pontual	
	Estação	TRMM	Estação	TRMM	Estação	TRMM
Io	10,00	10,83	65,70	52,03	275,38	160,78
Ib	1,69	5,24	60,57	39,07	201,40	112,55
H	0,01	0,05	0,01	0,17	0,02	0,16
Ks	4,55	0,50	0,98	1,15	0,69	0,91
Ksub	10,00	10,00	133,00	304,07	280,00	283,12
Rmax	8,66	0,00	0,57	6,48	10,90	2,63
Alfa	0,01	0,01	29,47	0,37	6,89	3,19

4.3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICAS DA MODELAGEM

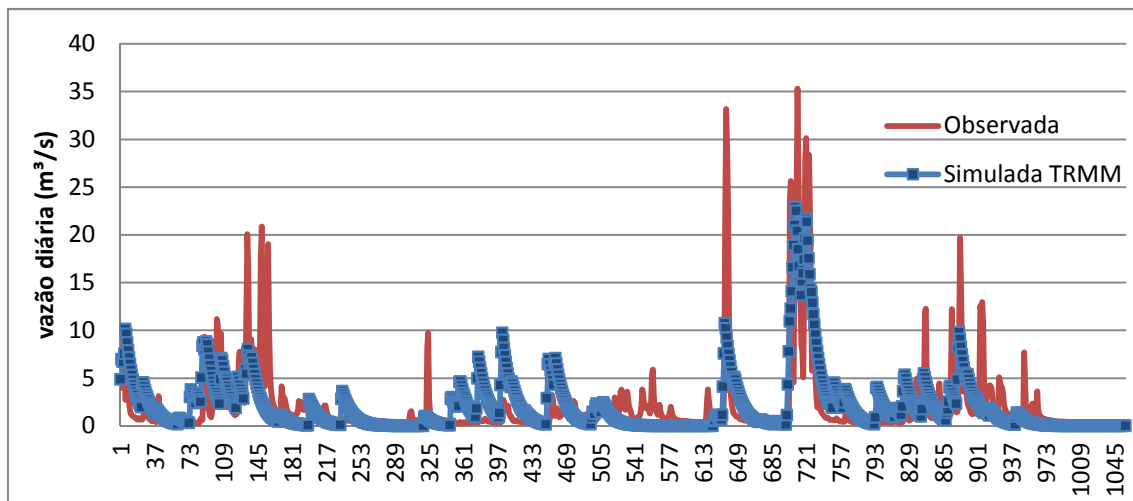
Para cada uma das doze situações propostas no trabalho foram gerados gráficos do tipo simulada versus observado e também foram testados os valores dos coeficientes estatísticos. Os resultados a seguir foram separados de acordo com as escalas temporais simuladas.

Simulação com dados diários

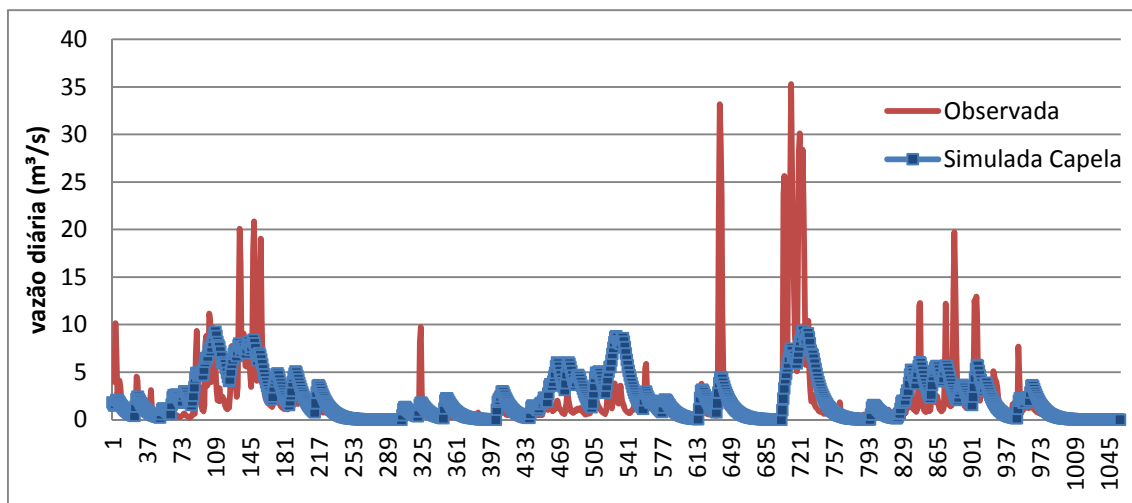
Para os valores de vazão obtidos através da precipitação diária, os coeficientes utilizados apresentaram valores baixos de correlação tanto para o TRMM como para a estação Capela. Destaca-se que o valor do Coeficiente de Nash-Sutcliffe foi baixo principalmente para a estação Capela. Segundo McCuen et al. (2005) o

coeficiente de Nash-Sutcliffe é uma ferramenta de análise estatística de variáveis não linear que representa bem os modelos hidrológicos, mas se apresenta sensível a quantidade de amostras e os desvios de picos enquanto o coeficiente de correlação demonstra melhor a tendência geral da curva não sendo tão influenciado por variações pontuais.

Através da análise visual da figura 4.6 pode-se identificar que os valores simulados a partir do TRMM representam melhor os picos de vazão que os da estação Capela, o que justifica o valor de Nash-Sutcliffe superior ao da estação Capela. Os melhores coeficientes foram encontrados para a simulação com dados do TRMM, nessa situação o coeficiente de Nash_sutcliffe do TRMM foi superior ao da estação Capela em 37%, Correlação Pearson 19% e o erro de volume também foi melhor ficando 37% menor que o da estação, em ambos os casos o volume foi subestimado.



a) Simulada com dados do TRMM

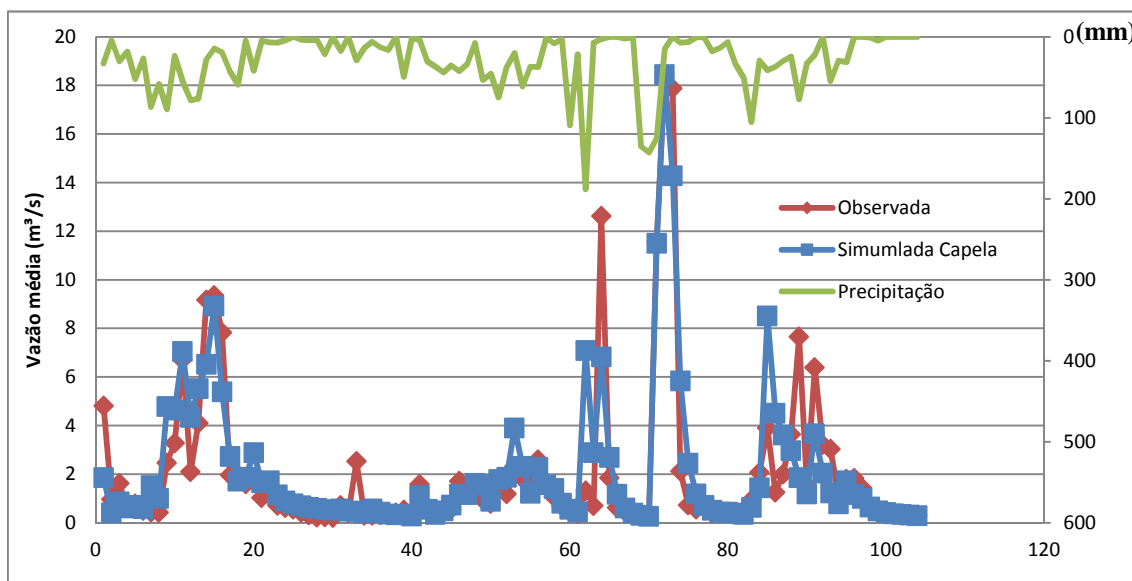


b) Simulada com Dados Capela

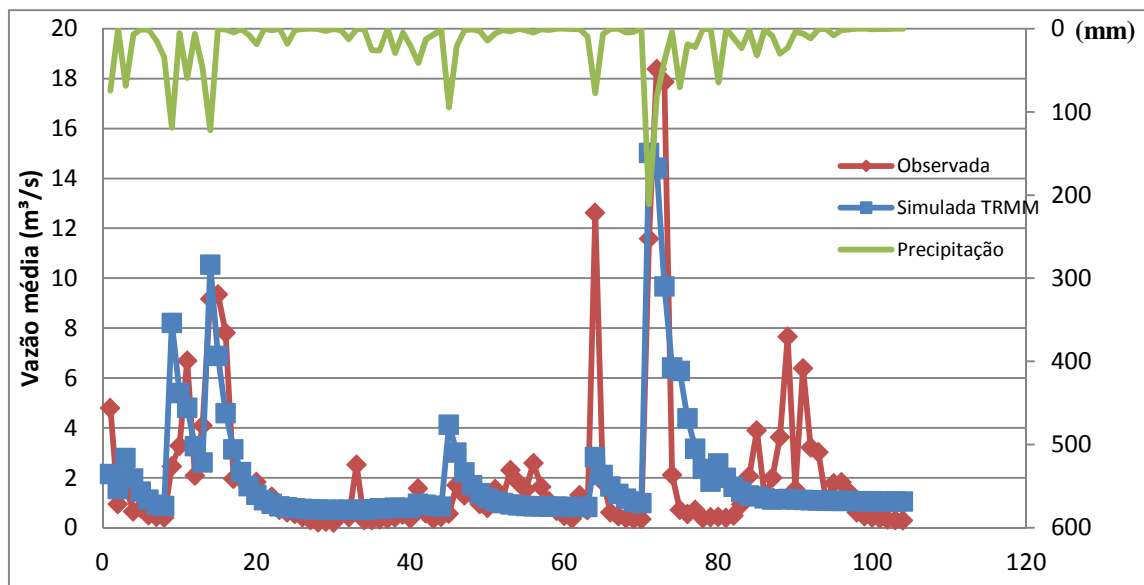
Figura 4.6 – Comparativo de simulação versus observado em escala diária.

Simulação com dados Decendiais

Na escala decendial os valores foram melhores que os valores encontrados na escala diária, assim como na comparação de precipitações esse resultado era o esperado pois o valor acumulado dilui a presença de pequenas discrepâncias na série, por exemplo, erros de leitura, fuso horário e chuvas de grande intensidade muito pontuais. Essa melhora de correlação pode ser notada visivelmente a partir dos gráficos presentes na figura 4.7.



a) Simulação com dados Capela Acumulado 10 dias



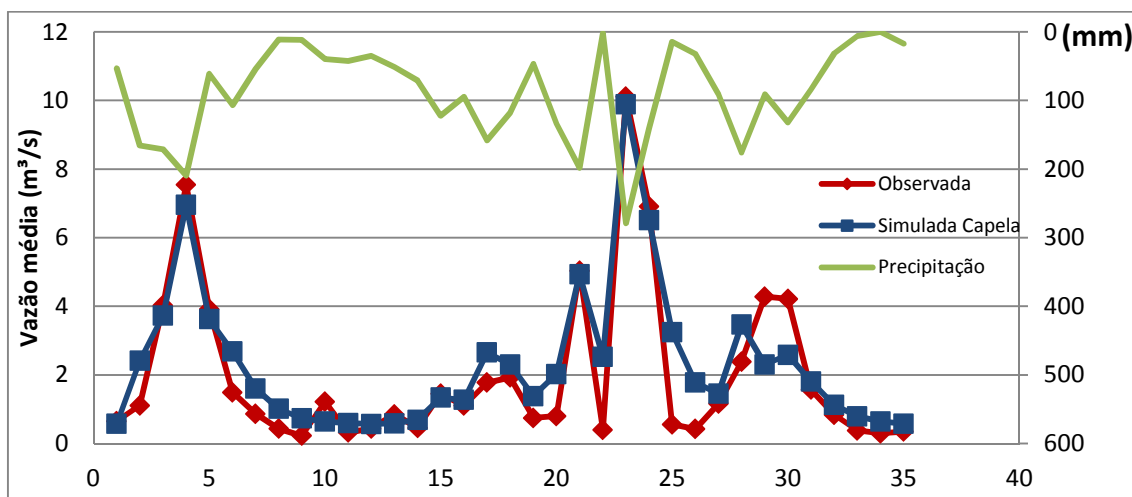
b) Simulação com dados TRMM acumulados 10 dias

Figura 4.7 – Simulação com dados pontuais acumulados 10 dias.

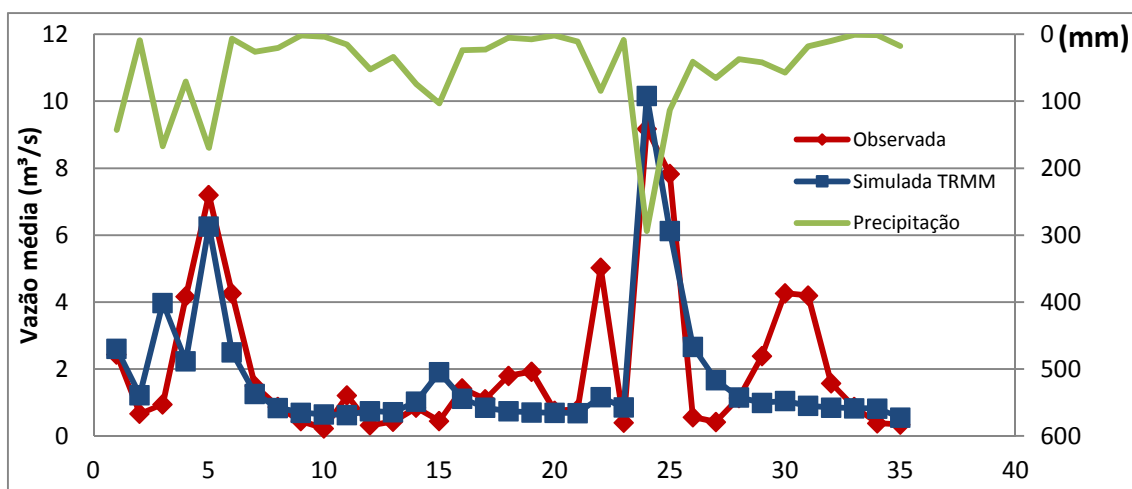
A estação Capela mostrou-se melhor na representação da vazão do que o TRMM interpolado pontualmente em dois dos 3 coeficientes, sendo eles: o coeficiente de Nash-Sutcliffe e coeficiente de correlação r . A estação Capela foi 29% melhor no coeficiente de Nash-Sutcliffe e 16% melhor para a correlação de Pearson, para o Erro de Volume, o TRMM foi melhor, com um erro muito baixo 0,65%. No entanto ressalte-se que o erro da estação Capela também foi bastante aceitável 2,94%, novamente as duas situações subestimaram o valor da vazão.

Simulação com dados Mensais

Na escala mensal o comportamento anterior se repete, os coeficientes de Nash-sutcliffe e de Pearson são melhores que os encontrados na escala temporal anterior e apresentam resultados superiores para os dados simulados com a precipitação da estação Capela. A estação Capela supera o dados do TRMM em 29% para o coeficiente de Nash-Sutcliffe e em 15% para o coeficiente de Pearson. Observando a figura 4.8 é possível observar a boa correlação das linhas do gráfico, representando muito bem os períodos com maiores e menores acumulados de vazão, principalmente nos dados da estação capela. No gráfico dos valores do TRMM apesar de também ter um bom ajuste visual, observa-se certa divergência entre a curva de precipitação e a vazão observada ao final da série, essa característica aponta para uma falha na identificação da precipitação por parte do satélite e não para um possível erro do modelo.



a) Simulação com dados Capela acumulados 30 dias



b) Simulação com dados TRMM acumulados 30 dias

Figura 4.8 – Simulação com dados pontuais acumulados 30 dias.

Ressalte-se que os coeficientes obtidos nessa escala foram muito bons para estação Capela (Nash-Sutcliffe 0,84 e Pearson 0,93). Os valores do TRMM também foram bons (Nash-Sutcliffe 0,60 e Pearson 0,79) segundo Moriasi et al (2007) Valores de Correlação tanto de Pearson como de Nash-Sutcliffe acima de 0,5 são considerados aceitáveis para modelagens hidrológicas, sendo classificados como: Satisfatório ($0,50 < \text{Coeficiente} \leq 0,65$); Bom ($0,65 < \text{Coeficiente} \leq 0,75$) e muito bom ($0,75 < \text{Coeficiente}$

$\leq 1,00$) Segundo essa classificação os valores indicam a possibilidade de uso dos dados nesta escala temporal. O Erro de Volume para ambos ficou alto, com piora para Capela (subestimado em 15,29%) com relação ao TRMM (superestimado 14,43%), mas dentro de valores aceitos pela literatura.

4.4 ANÁLISE COMPARATIVA PARA VAZÃO ENTRE AS ESTAÇÕES E O TRMM: PRECIPITAÇÃO MÉDIA.

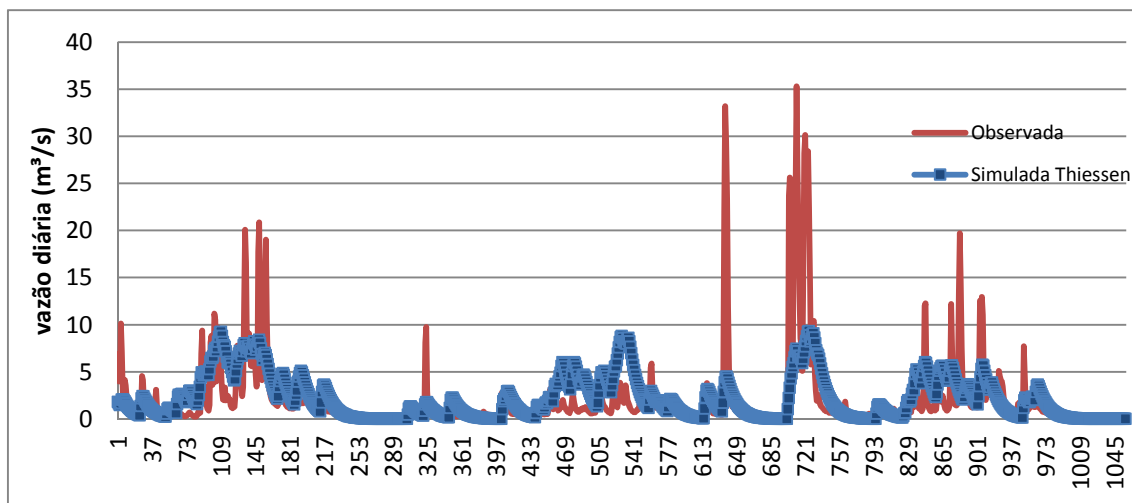
Para se obter a precipitação média das estações foram utilizados somente os dados das estações Capela e Fazenda Cajueiro, pois a estação Aquidabã apresenta dados somente a partir de 2004 não contemplando por inteiro o período a simulado. Os valores dos parâmetros de calibração estão expressos na tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Parâmetros para simulação com dados de precipitação média.

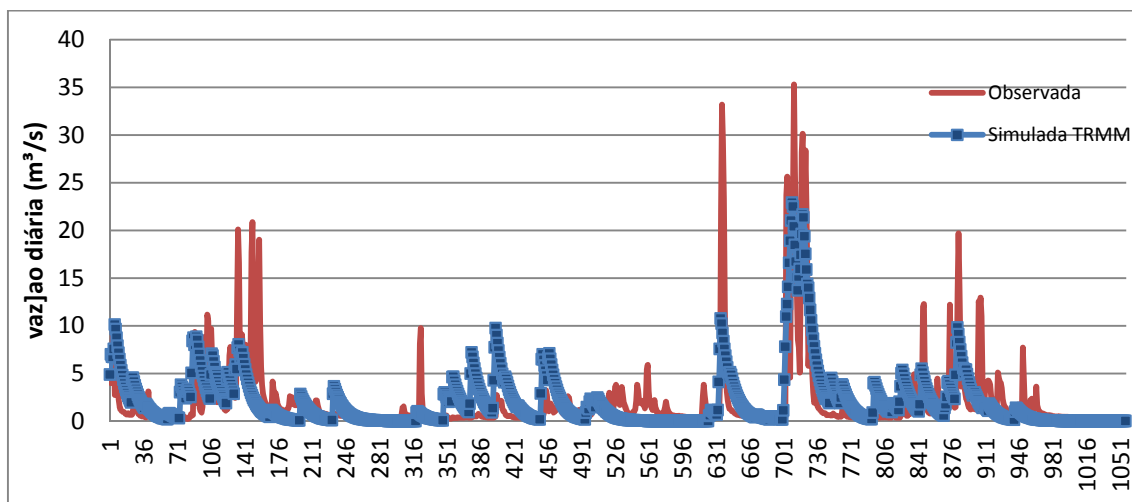
PARÂMETROS	Diário		Decendial		Mensal	
	Médio		Médio		Médio	
	Estação	TRMM	Estação	TRMM	Estação	TRMM
Io	10,00	11,93	220,58	70,21	147,96	275,38
Ib	1,59	4,78	200,96	61,55	132,91	201,40
H	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02
Ks	10,00	0,48	0,76	1,74	0,65	1,27
Ksub	10,00	10,00	149,54	223,28	493,96	434,29
Rmax	9,00	0,07	0,97	0,64	4,80	5,04
Alfa	0,01	0,01	28,59	1,09	28,27	26,49

Simulação Diária

Utilizando-se dos valores médios de precipitação para a região da sub-bacia do Japarutuba foram encontrados para escala diária valores de coeficientes semelhantes aos encontrados com os valores de precipitação pontuais. Na escala diária permaneceu a superioridade dos valores obtidos pelo Trmm frente aos valores observados pela estação em todos os coeficientes analisados. A representação gráfica da simulação pode ser visualizada na figura 4.9 e não apresenta variação significativa em relação ao simulado pontual.



a) Simulação diária com dados da Precipitação média



b) Simulação diária com dados do TRMM médio

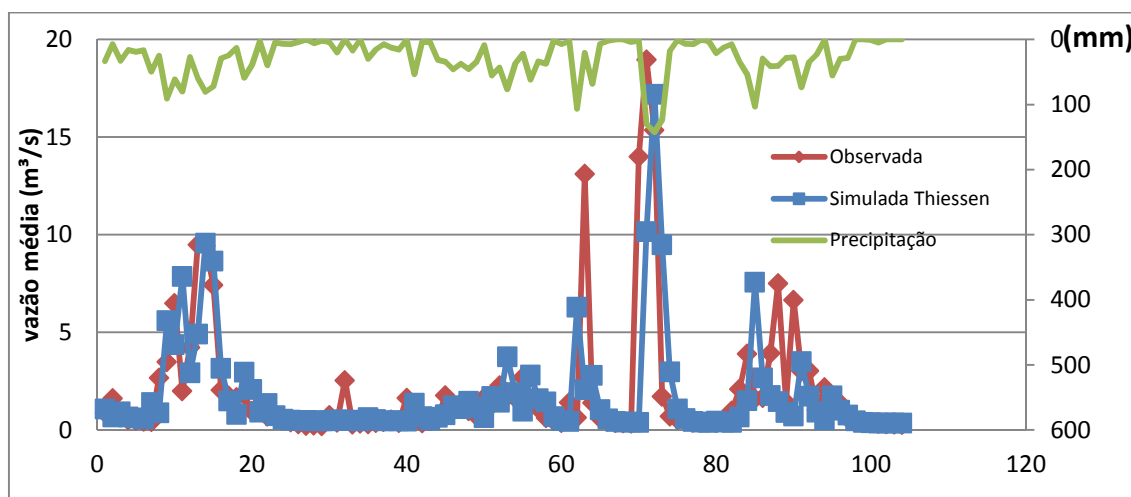
Figura 4.9 – Simulações diárias com valores de precipitação média.

Na comparação entre as precipitações pontual e média pode-se observar que todos os coeficientes utilizados para a avaliação foram melhores para a simulação realizada com os dados do TRMM médio, no entanto permaneceu o valor do coeficiente de Nash-Sutcliffe abaixo de 0,50. Os coeficientes obtidos com a precipitação média do método de Thiessen apresentaram valores praticamente idênticos porém um pouco abaixo dos valores pontuais da estação Capela. Os erros de volume foram aceitáveis para os dois casos, apresentando uma discreta melhora em relação aos valores pontuais.

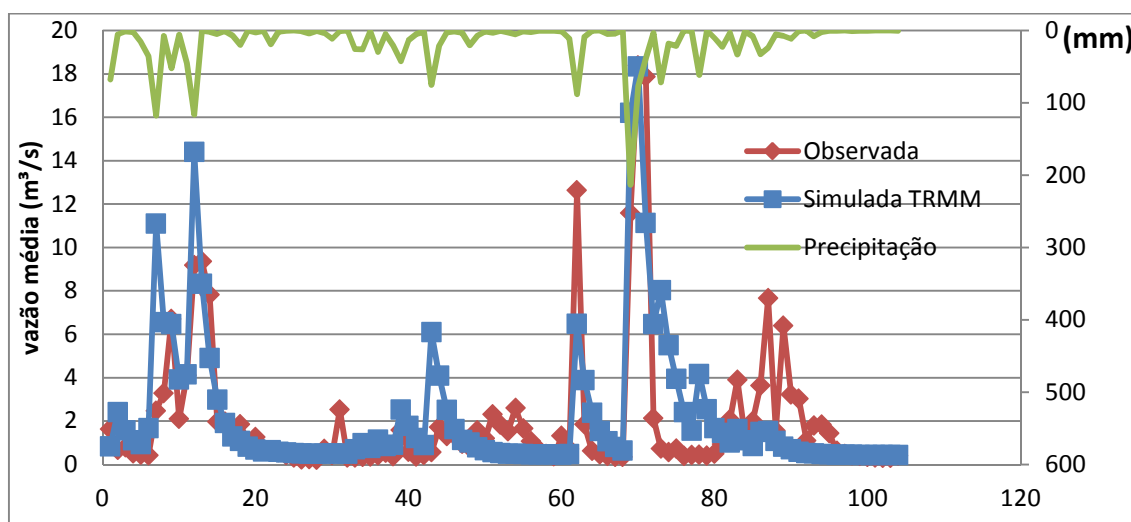
Simulação Decendial

No acumulado de dez dias a precipitação média do TRMM apresentou resultados melhores que os da média das estações, os coeficientes de Nash-Sutcliffe e

Pearson (0,50 e 0,76) foram superiores aos das estações em 44% e 22% respectivamente. Para o Erro de Volume, o comportamento foi da ordem de 11% com subestimação para TRMM e superestimação para Thiessen. As simulações podem ser observadas na figura 4.10.



a) Simulação com dados acumulados 10 dias da Precipitação média



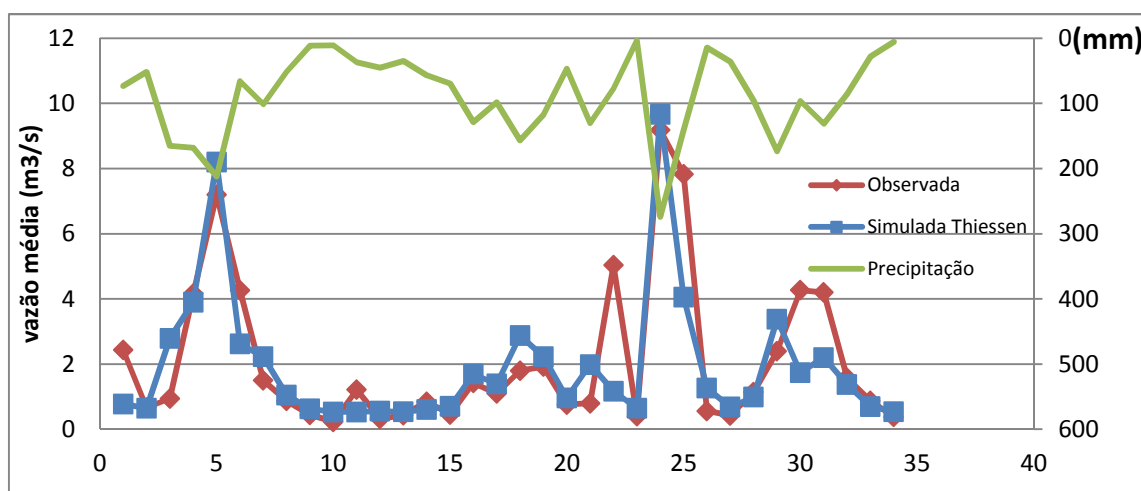
b) Simulação com dados acumulados 10 dias do TRMM médio

Figura 4.10 - Simulação com dados acumulados 10 dias da Precipitação média.

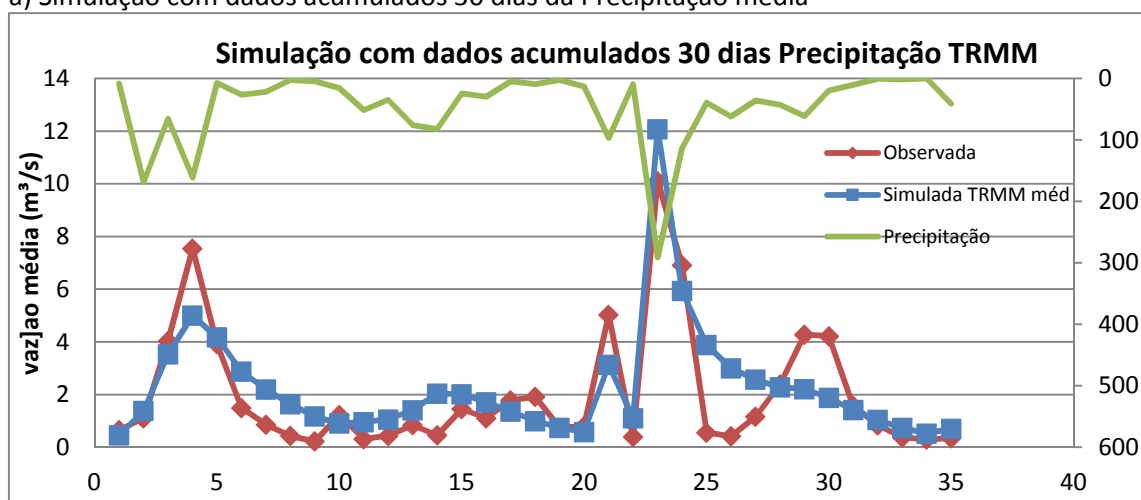
Em relação à espacialização da precipitação os valores dos coeficientes do trmm médio permaneceram praticamente iguais aos pontuais apenas com uma pequena redução no valor de Nash-Sutcliffe, contudo os valores de erro médio apresentaram uma diferença considerável saindo de 0,65 na escala pontual para 11,06. Os coeficientes da precipitação média de thiessen apresentaram uma redução considerável em relação aos valores pontuais, chegando a redução de mais de 50% no valor de Nash-Sutcliffe que passou de 0,78 para 0,35.

Simulação Mensal

Na escala mensal para valores médios os coeficientes ficaram equivalentes para ambos, com ligeira superioridade para o TRMM médio, com exceção do Erro de Volume que foi um pouco maior para o TRMM. Os valores seguiram o padrão e apresentaram melhoras em relação ao acumulado de dez dias contudo observa-se que neste caso os valores simulados com o Thiessen apresentou melhora significativa nos coeficientes de Nash e Pearson ao mudar a escala temporal. Esta melhora também ocorre no TRMM, no entanto em uma menor proporção. Assim como os valores pontuais os valores médios em escala mensais apresentam valores de correlação satisfatórios, o que permite dizer que poderiam ser utilizados para fins de modelagem. Os gráficos dos valores de simulação para precipitações médias são apresentados na figura 4.11.



a) Simulação com dados acumulados 30 dias da Precipitação média



b) Simulação com dados acumulados 30 dias Precipitação TRMM

Figura 4.11 - Simulação com dados acumulados 30 dias da Precipitação média.

De maneira Geral observou-se melhora em todos os coeficientes de Nash-Sutcliffe e Pearson com o acúmulo de dias na escala temporal, esses valores podem ser visualizados na tabela 4.9. O Erro de Volume mostrou-se mais aleatório, sem um comportamento definido. Tal fato pode estar relacionado ao processo de calibração, que priorizava a obtenção de melhores valores para o coeficiente de Nash-Sutcliffe.

Tabela 4.9 – resumo dos coeficientes na simulação.

PONTUAL	DIÁRIO			DECENDIAL			MENSAL		
	TRMM			TRMM			TRMM		
	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)
	0,40	0,65	-6,86	0,56	0,75	-0,65	0,60	0,79	14,43
	ESTAÇÃO			ESTAÇÃO			ESTAÇÃO		
	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)
	0,29	0,55	-10,99	0,78	0,89	-2,94	0,84	0,93	-15,29
MÉDIO	DIÁRIO			DECENDIAL			MENSAL		
	TRMM			TRMM			TRMM		
	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)
	0,468	0,691	-4,454	0,50	0,76	-11,06	0,70	0,84	-12,10
	ESTAÇÃO			ESTAÇÃO			ESTAÇÃO		
	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)	Nash	Correlação	Erro de Volume (%)
	0,29	0,54	-7,61	0,35	0,62	11,37	0,69	0,83	8,62

Analisando pela espacialização da precipitação pode-se notar que o TRMM médio apresentou de maneira geral melhores coeficientes Nash-Sutcliffe e Pearson em todas as escalas temporais com relação ao TRMM pontual, com exceção apenas ao Nash na escala decendial. Já a estação Capela de forma contrária ao TRMM mostrou-se com melhores coeficientes para precipitações pontuais que a chuva média proveniente de Thiessen na bacia em quase todos os casos, excetuando apenas nos Erros de Volume diário e mensal. Esta característica pode indicar que a estação apresenta boa representatividade das precipitações ocorridas na sub-bacia estando bem localizada dentro da área de abrangência da estação fluviométrica de Japarutuba, também pode-se observar que a outra estação considerada, Fazenda Cajueiro, não acrescenta informação relevante aos processos de simulação hidrológica para a região estudada.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou a qualidade dos dados de precipitação diários fornecidos pelo produto 3B42_V7 do satélite TRMM, para isso foram feitas análises de correlação estatísticas através da comparação de valores de campo com os valores de satélite e também com base na modelagem chuva-vazão. Tanto para as análises de precipitação como para as análises do modelo chuva-vazão foram usadas 3 escalas temporais (diário, decenal e mensal) e duas espaciais (pontual e área).

A metodologia aplicada para a obtenção dos coeficientes estatísticos na comparação direta de precipitação x precipitação demonstrou que os dados de satélite não apresentam boa correlação para os valores diários. A estação que apresentou melhor ajuste foi a estação Aquidabã, contudo foram encontrados valores subestimados pelo TRMM da ordem de 50% para as 3 estações pesquisadas e valores de Nash e Pearson muito baixos não ultrapassando 0,3 e -0,18 para Correlação de Pearson e Nash respectivamente. Na escala decenal os valores dos coeficientes foram maiores porém não satisfatórios, obtendo como melhor resultado a estação Aquidabã Nash 0,2 e Pearson 0,6. Para a escala mensal os valores continuaram aumentando mesmo assim não foram atingidos valores satisfatórios.

Na análise de representatividade da sazonalidade das chuvas pode-se constatar que os dados de satélite representam bem somente as chuvas que ocorrem no início do ano, subestimando o período de maior concentração de chuvas que ocorre de maio a agosto. Com isso pode-se concluir que os dados diários obtidos através do TRMM não estão bem relacionados com os dados coletados em campo e que não devem ser utilizados sem que antes sejam feitas correções em seus dados. Entretanto pode-se observar que seja possível a adoção de coeficientes de correção que ajustem de forma adequada os valores obtidos pelo satélite, pois os erros e desvios mostraram-se praticamente regulares entre as estações durante os anos estudados.

A outra metodologia aplicada teve como objetivo analisar a qualidade das simulações hidrológicas chuva-vazão obtidas através dos dados de satélite. Da mesma forma que na precipitação foram realizadas simulações para 3 escalas temporais e 2 espaciais. Os resultados diários apresentaram valores baixos de correlação para todos os cenários pesquisados, foram encontrados valores variando entre 0,29 a 0,47 para o

coeficiente de Nash e valores de 0,55 a 0,69 para a correlação de Pearson. Os coeficientes na escala diária apesar de baixos apresentaram valores bem superiores aos encontrados na comparação direta entre as precipitações.

Os valores da escala decendial apresentaram melhorias, com valores de Nash e Pearson variando de 0,35 a 0,78 e 0,62 a 0,89 respectivamente. Destaca-se nessa escala temporal o bom ajuste da estação Capela e do TRMM pontual sendo inclusive considerados satisfatórios para a utilização dos dados. Na escala mensal todas as situações apresentam melhorias em relação aos coeficientes obtendo-se valores mínimos de Nash de 0,60 e Pearson 0,79. Com isso pode-se afirmar que a calibração é satisfatória para dados mensais em todas as situações estudadas.

Baseado nos resultados encontrados, pode-se concluir que os valores acumulados de precipitação apresentam melhores coeficientes de correlação para todos os cenários, seja comparação direta ou simulação chuva-vazão. Pode-se concluir também que os valores de simulação com dados pontuais são melhores para os valores medidos em campo que para os valores medidos em satélite. No caso de chuva média esses resultados se invertem, os dados do Satélite apresentaram melhor ajuste que os dados de campo.

Os dados diários obtidos do TRMM não apresentaram bons índices de correlação na comparação direta com as estações, contudo pode-se observar que o algoritmo de otimização do modelo consegue calibrar parâmetros para corrigir de maneira satisfatória esses erros de correlação encontrados nos dados de precipitação, dessa forma os dados podem ser utilizados na simulação hidrológica nas escalas decendiais e mensais para a bacia estudada.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se procurar a aplicação de coeficientes para a correção dos dados de precipitação, gerando assim uma série do TRMM corrigido que melhor se correlacione com as estações em campo. Outro ponto a ser abordado é a investigação dessa característica de subestimação do TRMM nos períodos com chuvas prolongadas, esse problema é uma falha pontual do sistema ou espalha-se pela faixa leste nordestino onde apresenta o mesmo regime de chuvas?

6. REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=10743> Acesso em: 27 fev. 2014.

ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P. Avaliação espaço-temporal do uso do solo na área da bacia do rio Japaratuba – Sergipe através de imagens LANDSAT. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 14, 2009, Natal.

ARAGÃO R., J. A .P. ALMEIDA, E. E. DE FIGUEIREDO, V. S. SRINIVASAN Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japaratuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.7, p.731–740, 2011

ARNOLD, J.G., SRINIVASAN, R., MUTTIAH, R.S., WILLIAMS, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development. J. Am. Water Resour. Assoc. 34, 73–89.

BALDISSERA, G.C., 2005. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT (MS Thesis) Mato Grosso Federal University, Cuiabá, Brazil.

BARBOSA ,J C Modelagem e Modelos Matemáticos na Educação científica **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.2, n.2, p.69-85, jul. 2009 ISSN 1982-5153.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. Rainfall based real time flood forecasting. **Journal of Hydrology**, vol.131(1), p.313-339. 1992.

BRASIL. (1997). Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

BRAVO, J.M.; ALASSIA, D.G.P.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI,C.E.M. (2006).**Manual de conceitos do WIN_IPH2. Versão 1.0**. Editora: Rutinéia Tassi, Porto Alegre, 27 pp.

BRAVO, J.M., COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M.Verificação da eficiência e eficácia de um algoritmo evolucionário multi-objetivo na calibração automática do modelo hidrológico IPH II.Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.14, n.3, p37-50.2009.

BRUN, G.W.; TUCCI, C.E.M. Previsão em tempo real do volume afluente ao reservatório de Ernestina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol.6, n.2.p73-79. 2001.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). El Niño e La Niña. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>

COLLISCHONN, WALTER; TUCCI, C. E. MORELLI. Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos HídricosRBRH**. v. 8, n. 3, p. 27-39, jul/set 2003.

COLLISCHONN, B; COLLISCHONN, W; TUCCI, C. Análise do campo de precipitação gerado pelo satélite TRMM sobre a bacia do São Francisco até Três Marias. **I Simpósio de Recursos Hídricos do SulSudeste, 27-29 de agosto**, Curitiba, PR, 2006.

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, 2006.

COLLISCHONN, B. et al. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 59 n. 1, Abril 2007.

COSTA, M. H., BOTTA, A. and CARDILLE, J. A.. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, 2003.

COSTA Overland Amaral; SANTOS David Nogueira dos. **Influência da ZCAS e ZCIT e seus efeitos de inundações nas bacias hidrográficas no estado de Sergipe** – abril de 2011.IV Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe. Aracaju, 2011.

CRUZ, M. A. S. **Análise do comportamento Hidrológico do rio Japarutuba a partir de disttribuições e a curva de permanência de vazões**. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros 2009.

DECHMI F.; BURGUETE, J.; SKHIRI A. SWAT application in intensive irrigation systems: Model modification, calibration and validation. **Journal of Hydrology 470–471** (2012)

EO/NASA – Earth Observatory of National Aeronautics and Space Administration. Features Articles. Disponível em <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/TRMM/trmm4.php> acessado em 27 de fev 2014.

FARIAS, S.E.M.; ARANTES, A.E.; FERREIRA, L.G.; SANO, E.E.; BARROS, J.R. *2013): Avaliação das Estimativas de Precipitação do satélite TRMM para o Estado de Goiás: uma abordagem climatológica. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

FERREIRA, G. A; MELLO , M. G. L. 2005, **Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região**. *Revista Brasileira de Climatologia*, nº1 vol 1.

FLEMING K., AWANGE, J.L, KUHN, M. AND W.E. FEATHERSTONE, Evaluating the TRMM 3B43 monthly precipitation product using gridded raingauge data over Australia *Australian Meteorological and Oceanographic Journal* **61** (2011) 171–184.

FUKUNAGA, D. C.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, L. T.; CAIADO, M. A. C. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. *Catena* **125** (2015)

GERMANO, A.; TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.L.L. da. Estimativa dos parâmetros do Modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 4 ,p. 103-120, 1998.

JAVANMARD, S., A. YATAGAI, M. M. NODZU, J. BODAGHJAMALI, AND H. KAWAMOTO. 2010. “Comparing High-Resolution Gridded Precipitation Data with Satellite Rainfall Estimate of TRMM_3B42 over Iran.” *Advanced Geosciences* **25**: 119–125.

LEIVAS, J.F.; RIBEIRO, G.G.; SOUZA, M.B.; FILHO, J.R. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. In: **XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2009, Natal. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1611-1616

LEIVAS, J.F. RICARDO, G. A.; DANIEL, C. V.;FABIO,E. T.; EDSON, L. B. Monitoramento da seca 2011/2012 no nordeste brasileiro apartir do satélite SPOT-Vegetation e TRMM. *Engenharia na agricultura, viçosa - mg*, **V.22 N.3**, MAIO / JUNHO 2014;

LEVIZZANI, V., R. AMORATI, AND F. MENEGUZZO, 2002: **A review of satellite-based rainfall estimation methods**. European Commission Project MUSIC Report (EVK1-CT-2000-00058), 66 pp.

MAZIERO, ELISANDRA; CRUZ, JUSSARA CABRAL; PADILHA, DAMÁRIS; BAUMHARDT, EDNER. Indicador hidrológico de tempo de percurso determinado pixel a pixel para uma bacia hidrográfica. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 18., 2009. Anais... Campo Grande, MS: [s.n.], 2009. p. 67–88.

MCCUEN R. H. ;KNIGHT Z, CUTTER A. G. Evaluation of the Nash–Sutcliffe Efficiency Index. *journal of hydrologic engineering* © asce / november/december **2006**

MORIASI, D. N., ARNOLD, J. G., VAN LIEW, M. W., BINGNER, R. L., HARMEL, R. D., VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* ISSN 0001–2351, 2007

NASA- National Aeronautics and Space Administration

NÓBREGA, R.S.; SOUZA, E.P.; 2008. Análise da estimativa de precipitação do trmm em uma sub-bacia da amazônia ocidental. **Revista de Geografia. Recife: UFPE**, v. 25, n1,abr.2008.

Paixão,E.B., 1999: **Caracterização do Vórtice Ciclônico de Ar Superior no Nordeste Brasileiro**. Dissertação de mestrado em Meteorologia, IAG-USP, São Paulo - SP.

PASSOW M. J. 2010. TRMM —**Tropical rainfall measuring mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom**. TRMM: Trazendo o sensoriamento remoto de precipitação para sua sala de aula. *Terra Didática*, 6(1):03-08<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>

PEREIRA, GABRIEL;SILVA, MARIA ELISA SIQUEIRA; MORAES, ELISABETE CARIA; CARDOZO, FRANCIELLE DA SILVA Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil; RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18 n.3** –Jul/Set 2013,139-148.

RAMAGE, K.; JOBARD, I.; LEBEL, T.; DESBOIS, M. Satellite estimation of 1-day to 10-day cumulated precipitation: comparison and validation over tropical Africa of TRMM, METEOSAT and GPCP products . **The 2003 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference** , 29 de setembro a 3 de outubro de 2003, Weimar, Alemanha

SANTOS, BÁRBARA VALOIS COUTINHO DIAS DOS; FONTES, ANDREA SOUSA. Calibração do modelo hidrológico SMAP para a Bacia do Rio Salitre considerando diferentes cenários climáticos. **Anais XX Simpósio BRasileiro de Recursos Hídricos** - SBRH, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 18 a 22 de novembro de 2013, ABRH.

SARAIVA, I. S. ; FERNANDES, W. S. ; NAGHETTINI, M. C. . Simulação hidrológica mensal em bacias hidrográficas sem monitoramento fluviométrico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** , v. 16, p. 115-125, 2011.

SERGIPE-Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH. Superintendência de Recursos Hídricos – SRH **SITUAÇÃO ATUAL DAS OUTORGAS DE DIREITO DE USOS DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DE SERGIPE**.

SILVA, V.P.R.; PEREIRA, E.R.R.;ALMEIDA, R.S.R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p.163-172, 2012.

TASSI, R.; BRAVO, J.M.; MELLER, A.; COLLISCHONN, W. (2006) “Avaliação del impacto de diferentes funções-objetivo na calibração automática multiobjetivo do modelo IPH II”. **XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Guayana, Venezuela**, out. 2006.

TRMM-*Tropical Rainfall Measuring Mission-Senior Review Proposal 2007*. Disponível em: http://trmm.gsfc.nasa.gov/publications_dir/publications.html acessado em 20 de jan de 2014

TRMM. Tropical Rainfall Measuring Mission.
http://trmm.gsfc.nasa.gov/data_dir/data.html. acessado em 20 de fev de 2014 .

TUCCI, C.E.M.; ORDONEZ, J.S.; SIMÕES LOPES, M. 1981. Modelo Matemático Precipitação-Vazão IPH II Alguns Resultados. **Anais IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH. Fortaleza.

TUCCI, C.E.M.; CAMPANA, N. 1993. Simulação distribuída com IPH II, Nova versão **Anais X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** Gramado V3 p495-504.

TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: ABRH, (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4). 1997.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre Editora da Universidade Federal do Rio Grande Do Sul..UFRGS ABRH 652p. 2005.

VARELLA , RENATO F. CAMPANA NÉSTOR A. simulação matemática do processo de transformação de chuva em vazão: estudo do modelo topmodel. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 5 n.4 Out/Dez 2000, 121-139.**

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations. WMO-No.8, Geneva, Switzerland.